

И. И. ДЗЮБИН, А. А. ЕНИН

Путешествие в мир радиоэлектроники

МИР ЗНАНИЙ

И. И. ДЗЮБИН, А. А. ЕНИН

Путешествие в мир радиоэлектроники

Книга для внеклассного чтения

VIII—X классы

МОСКВА «ПРОСВЕЩЕНИЕ» 1980

ББК 32
Д43

Дзюбин И. И., Енин А. А.

Д43 Путешествие в мир радиоэлектроники: Кн. для внеклассного чтения, VIII—X кл. — М.: Просвещение, 1980. — 176 с.; ил. — Мир знаний.

В книге в популярной форме рассказывается о развитии, достижениях и возможностях радиоэлектроники. Она знакомит читателя с областью науки и техники, без которой были бы немыслимы такие достижения человеческого гения, как радиовещание, телевидение, электронно-вычислительная техника, кибернетика, космонавтика, квантовая электроника, микроэлектроника, полупроводниковая электроника, акустоэлектроника и т. д.

Книга предназначена для учащихся старших классов средней школы. Она может быть также полезна всем, кто интересуется современной радиоэлектроникой.

Д $\frac{60601-493}{103(03)-80}$ 295—80 · 4306021900

ББК 32
6 Ф

От авторов

В наши дни советский народ успешно решает грандиозные задачи построения коммунистического общества. Наука все активнее превращается в непосредственную производительную силу. Одно из ведущих мест при этом занимает радиоэлектроника. О ней много говорят и пишут. И это не удивительно: она служит блестящим примером того, как достижения фундаментальных наук способствуют техническому прогрессу.

Трудно найти отрасль народного хозяйства, где бы не применялась различная радиоэлектронная аппаратура: радиовещание, телевидение, приборостроение, вычислительная техника, автоматическое управление производственными процессами, медицинское оборудование, ракетная техника, космонавтика, кибернетика, бионика и др. И поразителен факт, что все эти достижения начали свой путь от первого в мире радиоприемника А. С. Попова и пришли к своему нынешнему совершенству за время жизни одного поколения.

Замечательное изобретение А. С. Попова получило в нашей стране широкое развитие и стало достоянием всего народа. Волны радио- и телестанций доносят до нас последние известия, научные лекции, театральные постановки, репортажи из космоса, со строек, заводов, стадионов. Во всех этих передачах отражается кипучая и многообразная жизнь советского народа. Их слушают и смотрят в многочисленных уголках нашей огромной страны и далеко за ее пределами.

Понятие «радиоэлектроника» появилось только в середине 50-х годов нашего столетия. До этого времени су-

шествовали термины «радиотехника» и «электроника». Радиотехника — отрасль науки и техники, связанная с генерацией, усилением, излучением, приемом и преобразованием электромагнитных колебаний и волн длиной от нескольких километров до десятых долей миллиметра. Электроника — наука об электронных процессах в вакууме, газах и полупроводниках, а также область техники, занимающаяся разработкой и применением электронных приборов.

В настоящее время оба эти термина объединены в одном слове — «радиоэлектроника». Под радиоэлектроникой принято понимать обширный комплекс областей науки и техники, связанных главным образом с проблемами передачи, приема и преобразования информации с помощью электромагнитных волн. Она охватывает радиотехнику и электронику, а также ряд новых областей, выделившихся в результате их развития и дифференциации — квантовую электронику, оптоэлектронику, микроэлектронику, полупроводниковую электронику, инфракрасную технику, криоэлектронику, акустоэлектронику, хемотронику и др.

Наш рассказ о радиоэлектронике, конечно, будет неполным. Написать в одной небольшой книге обо всех областях науки, техники, промышленности, где она нашла применение, обо всех ее достижениях невозможно. Поэтому наше путешествие в мир радиоэлектроники мы совершим лишь в те области, где она завоевала прочные позиции. А небольшие экскурсы в историю помогут лучше понять сегодняшний уровень развития радиоэлектроники.

Сейчас вы еще учитесь в школе, а вскоре станете тружениками нашей Родины. И куда бы вы ни пришли — в институт, на завод, в совхоз или колхоз, учреждение, — вы везде встретитесь с радиоэлектроникой, помогающей человеку в самой разнообразной работе: управлять заводами, вести космические, воздушные, надводные и подводные корабли, выполнять сложнейшие математические вычисления, ставить диагноз, планировать, обучать и т. д.

Для того чтобы в совершенстве овладеть новейшей техникой и активно участвовать в нашей жизни, надо много знать и уметь. А чтобы знать и уметь, надо много и упорно учиться. Ведь сегодняшние успехи в образовании по самой природе своей устремлены в будущее, они отразятся в завтрашнем дне страны. Именно на это нацелено постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР

«О дальнейшем совершенствовании обучения, воспитания учащихся общеобразовательных школ и подготовки их к труду». В нем получили дальнейшее глубокое развитие ленинские принципы единой, трудовой, политехнической школы, разработанные в соответствии с решениями XXV съезда КПСС, положениями новой Конституции СССР, возросшими требованиями общественного производства и научно-технического прогресса.

В нашей стране под руководством Коммунистической партии сделано уже многое для развития науки и техники, в том числе и радиоэлектроники, а предстоит сделать еще не меньше. Увеличивается число научно-исследовательских институтов и предприятий радиоэлектронной промышленности, которым нужны соответствующие специалисты. Поэтому авторы надеются, что эта книга облегчит вам знакомство с радиоэлектроникой, а может быть, даже и поможет выбрать профессию. Чем больше вы будете знать, тем больше успехов можно ожидать от вашей трудовой деятельности. А к этому надо готовиться сегодня. Ведь знания и навыки, которые ученик получает в школе, имеют своей целью подготовить его к жизни в нашем стремительном времени.

Труд в нашей стране везде благороден и почетен — у станков и машин, на металлургических и химических заводах, на просторах целины и в космосе. Нам нужны рабочие, инженеры и ученые всех специальностей. И если вы, окончив школу, решите посвятить себя радиоэлектронике и эта книга хоть в какой-то мере поможет вам утвердиться в таком решении, то, значит, цель, которую поставили перед собой авторы, будет достигнута.

Счастливого Вам путешествия, дорогие читатели!

Глава 1

ПЕРВЫЕ ШАГИ

ЭТО БЫЛО НАЧАЛОМ НАЧАЛ

Тысячи лет отделяют нас от жизни древнейших народов и цивилизаций, когда-то живших на Земле. Археологам и историкам удалось воссоздать образ их жизни, традиции, культуру. Расшифрованы и прочитаны многие древние письмена, поведавшие нам об интереснейших событиях того времени. До нас дошло много различных легенд.

Одна из них связана с именем древнегреческого философа Фалеса, жившего в 624—547 гг. до н. э., который открыл мир таинственных и непонятных сил, названных им электрическими, от греческого слова «электрон», что означает «янтарь».

Чем же привлек к себе янтарь? Внешне он ничем особенным не отличается от других камней: были камни и красивее, и тверже, и прозрачнее его. Но стоило потереть янтарь о шерстяную ткань, как возникало необычное явление: он начинал притягивать пылинки, пух, нити, мелкие кусочки папируса. Фалес и его ученики не могли объяснить наблюдаемое явление, оно казалось им загадочным.

Древние ученые наблюдали еще одно явление, относящееся к таинственному «магнитному» камню, который притягивал к себе железные предметы. Описывая «магнетис», они отмечали, что он «имеет такую же, как янтарь, способность притягивать, но превосходит его тем, что приносит большую пользу при извлечении застрявших в ранах наконечников стрел и концов скальпелей в венах, а также при засорении желудка проглоченными железными опилками».

В легендах, относящихся к 1100 г. до н. э., содержится

упоминание о магните, использовавшемся в качестве компасной стрелки.

Необыкновенные свойства магнита казались волшебными. Неслучайно древнегреческие философы Платон и Аристотель в своих произведениях посвятили ему немало поэтических строк.

Древние летописи донесли до нас также упоминания о таких таинственных явлениях, которые вызывали удивление, страх и восхищение у наших далеких предков. Среди этих явлений были гром и молния.

Вряд ли можно винить древних ученых в непонимании всех этих таинственных и загадочных явлений. Окружающий человека мир был непонятен, а порой враждебен и полон опасностей, небо было величественным и грозным, а человек по сравнению с ними — слаб и беспомощен. И если гром и молния были пугающими человека, таинственными, даже сверхъестественными явлениями, то опыты с кусочками янтаря или полосками магнитного железа служили чаще всего забавой, а не объектом для изучения необычных явлений.

Для того чтобы понять многие загадочные явления, надо было объяснить странное «поведение» янтаря и магнита, «заглянуть» в глубь микромира, узнать, из чего состоят окружающие нас тела.

АТОМЫ, ЭЛЕКТРОНЫ, КВАНТЫ

Еще у мудрецов Древнего Востока, Индии, Греции возникала мысль о том, что все бесконечно огромное разнообразие веществ в природе состоит из ничтожно малых и невидимых глазу частичек, не поддающихся дальнейшему делению. Правда, в большинстве случаев это были не более чем догадки. Первым высказал предположение о строении вещества древнегреческий философ Левкипп, живший в 500—440 гг. до н. э. О нем не сохранилось почти никаких сведений, и, более того, были ученые, которые вообще отрицали его существование. И лишь в сочинениях Аристотеля можно найти упоминание о нем. Значительно больше известно об ученике Левкиппа — Демокрите (460—370 гг. до н. э.), которого принято считать творцом идеи атома.

Шло судебное заседание... Обвинение гласило: Демокрит нарушил законы государства. Путешествуя по мно-

гим странам, он непроизводительно растратил все ценности, полученные от отца, и тем самым нанес ущерб родному городу и его гражданам, ибо потратил наследство не на благо народа, а ради удовлетворения своей никому ненужной прихоти.

И прежде не раз бывало, что суд занимался подобными делами. Но тогда обвинялись торговцы, владельцы земель, кораблей. Здесь же обвинение выдвигалось против человека, занимающегося изучением философии.

Все с нетерпением ждали защитительной речи Демокрита, которого хорошо знали и глубоко почитали.

«Да, я истратил большую часть наследства, полученного от отца, путешествуя по Египту, Вавилонии, Сирии, Эфиопии, — сказал Демокрит в своей речи. — Но взамен богатств я привез бесценный клад знаний. Я отдаю на ваш суд мое произведение — результат долгих поисков, впечатлений, находок, исследований, проведенных мною в разных странах и здесь, на родине. Я назвал свое произведение «Великий Миростроий». Прочтите его, и вы найдете в нем сведения по геометрии, астрономии, медицине. Положите его на чашу весов и оцените то, что я истратил, и то, что я приобрел путем поисков и размышлений...»

Легенды свидетельствуют о том, что Демокрит был оправдан судом. Прослушав написанное им сочинение «Великий Мирострой», судьи пришли к выводу, что растраченное Демокритом богатство окупается теми знаниями, которые он приобрел для себя и своего народа.

Именно в этой книге мы находим первое упоминание о том, что весь окружающий нас мир состоит из мельчайших частиц — атомов. Вдумаемся в слова, изложенные более двух тысяч лет назад в книге «Великий Мирострой».

«Начало вселенной — атомы и пустота, все же остальное существует лишь во мнении. Миров бесчисленное множество, и они имеют начало и конец во времени. И ничто не возникает из небытия, не разрешается в небытие. И атомы бесчисленны по величине и по множеству, носятся же они во вселенной, кружась в вихре, и таким образом рождается все сложное: огонь, вода, воздух, земля. Дело в том, что последние суть соединения некоторых атомов. Атомы же не поддаются никакому воздействию и неизменяемы вследствие твердости».

Доказать свои идеи Демокрит не мог, он предлагал поверить ему на слово. Но ему не поверили. Слишком мно-

го было врагов учения Демокрита (не только при его жизни, но и долгие века после смерти). Но было много и страстных защитников его идей, и прежде всего древнегреческий философ Эпикур (341—270 гг. до н. э.).

Подобно Демокриту, он считал, что существуют только атомы и пустота, где эти атомы движутся. Но Эпикур внес и новое в атомистику Демокрита. Суть этого нового заключается в том, что, согласно учению Эпикура, атомы «по внутреннему побуждению» могут отклоняться от прямолинейного и равномерного движения, а также различаться не только величиной и формой, но и массой.

Оба великих мыслителя древности — Демокрит и Эпикур, а также римский поэт и философ Лукреций Кар, живший в 90—55 гг. до н. э., положили начало материалистическому пониманию явлений природы — новому учению о вечности материи, ее несотворимости, неуничтожению в природе.

Вот какими строками в своей поэме «О природе вещей» Лукреций рисует картину окружающего мира:

Если же пространства иль места, что мы пустотой называем,
Не было б вовсе, тела не могли бы нигде находиться
И не могли б никуда и двигаться также различно...
Также и времени нет самого по себе, но предметы
Сами ведут к ощущению того, что в веках совершилось,
Что происходит теперь и что воспоследует позже.
И неизбежно признать, что никем ощущаться не может
Время само по себе, вне движения тел и покоя...
Знай же: идет от начал всеобщее это блужданье;
Первоначала вещей сначала движутся сами,
Следом за ними тела из малейшего их сочетанья,
Близкие, как бы сказать, по силам к началам первичным,
Скрыто от них получая толчки, начинают стремиться
Сами к движению затем, понуждая тела покрупнее...

Представление об атоме, пришедшее к нам из глубокой древности, долгое время оставалось неизменным. И хотя человек уже давно научился «расщеплять» атом (само слово «атом» переводится как «неделимый»), термин этот сохранился до наших дней.

Чтобы связно рассказать о том, как человечество пришло к современным понятиям молекул, атомов, электронов, ядер и элементарных частиц, понадобилась бы целая книга. Мы только лишь кратко напомним, как объясняет строение атома современная физика.

В центре атома находится ядро. В нем сосредоточена почти вся масса атома. Ядро заряжено положительно. Во-

круг него движутся отрицательно заряженные частицы — электроны. Они образуют так называемую электронную оболочку атома. Электроны в электронной оболочке располагаются слоями, причем в каждом из них содержится определенное число электронов, которое можно найти по формуле $2n^2$, где n — номер слоя. От количества электронов в электронной оболочке зависят химические и физические свойства элементов. Каждый электрон несет строго определенной величины отрицательный заряд, называемый элементарным электрическим зарядом ($-1{,}6\cdot10^{-19}$ Кл). Положительный заряд ядра атома равен (по абсолютному значению) сумме отрицательных зарядов электронов, находящихся на электронной оболочке атома. Поэтому в нормальном состоянии атом электрически нейтрален. Число положительных элементарных зарядов ядра атома определяет собой атомный, или порядковый, номер данного элемента в периодической системе элементов Д. И. Менделеева.

Электроны удерживаются на своих орбитах силами электрического притяжения между ними и ядром атома. Причем каждый из электронов в зависимости от расстояния, на котором он движется вокруг ядра, обладает определенным запасом энергии.

При определенных условиях атомы могут присоединять или отдавать один или несколько электронов, становясь соответственно отрицательно или положительно заряженными ионами.

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО... ЧТО ЭТО?

Первое в истории употребление термина «электрический» связано с именем английского ученого Уильяма Гильберта, придворного врача королевы Елизаветы. В 1600 г. вышло в свет знаменитое сочинение Гильберта «О магните, магнитных телах и о большом магните — Земле. Новая физиология, доказанная множеством аргументов и опытов», в котором было положено начало научному подходу к различным электрическим и магнитным явлениям.

В одной из глав Гильберт пишет: «Электрические тела — те, которые притягивают таким же образом, как янтарь». Этот тезис кажется тем более убедительным, что Гильберт приводит несколько примеров «электрических

тел», т. е. тел, способных наэлектризовываться: стекло, сера, опал, кристаллы кварца и др. В то же время он обращает внимание на вещества, подобные мрамору, извести и др., которые этим свойством не обладают. Кроме того, Гильберт изучил влияние влажности воздуха и других условий на электрические свойства тел.

Немало новых выводов сделал Гильберт в своих исследованиях по магнетизму. Вот основные из них.

Земля представляет собой огромный магнит.

Предметы из мягкого железа, в течение долгого времени лежащие в одном положении, «приобретают намагниченность в направлении север — юг».

Магнитные взаимодействия бывают двух родов — отталкивание и притяжение.

При нагревании магнита его магнитные свойства ослабевают.

И еще, пожалуй, самый главный вывод, сделанный Гильбертом. Ему впервые удалось обнаружить связь между электрическими и магнитными явлениями. Он заметил, что электрическое притяжение значительно слабее магнитного, но зато присуще всем телам, тогда как магнитное обнаруживается только у некоторых тел. Другими словами, Гильберт разделил наблюдаемые явления на электрические и магнитные, которые с тех пор стали исследоваться отдельно.

Теперь нам будет, пожалуй, нетрудно разгадать «тайну» янтаря, натертого шерстью. В самом деле, почему янтарь электризуется? Оказывается, что при трении о шерсть на его поверхности появляется избыток электронов и возникает отрицательный электрический заряд. Мы как бы «отбираем» электроны у атомов шерсти и переносим их на поверхность янтаря. Электрическое поле, созданное этими электронами, притягивает бумагу, обрывки ниток и т. п.

Если вместо янтаря взять стекло, то здесь наблюдается другая картина. Натирая стекло шелком, мы «снимаем» с его поверхности электроны. В результате на стекле оказывается недостаток электронов и оно заряжается положительно.

Впоследствии, чтобы различать эти заряды, их стали условно обозначать знаками, дошедшими до наших дней, минус и плюс.

Было установлено, что тела, наэлектризованные разно-

родными зарядами, притягиваются, а одноименными — отталкиваются.

Следующий шаг в познании природы электричества сделал знаменитый французский физик Шарль Кулон, установивший в 1785 г., что сила взаимодействия электрических зарядов пропорциональна их величинам и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними.

В теорию о природе электричества внес большой вклад Михаил Васильевич Ломоносов.

К концу XVIII в. свойства и поведение статических зарядов были достаточно изучены и объяснены. Однако о движущихся зарядах — об электрическом токе тогда еще не было ничего известно. Оставалось сделать лишь один решающий шаг. И он вскоре был сделан итальянскими учеными Луиджи Гальвани и Алессандро Вольта.

В один из вечеров 1790 г. профессор медицины Болонского университета Гальвани изучал в лаборатории нервную систему лягушек. Один из ассистентов случайно дотронулся до нерва лягушки скальпелем и увидел, как вздрогнули лапки мертвой лягушки, лежащей на некотором расстоянии от электрической машины. Другой ассистент заметил, что это явление происходило лишь в момент появления искры из электрической машины.

«Пораженный новым явлением, я тотчас же обратил на него свое внимание, хотя замышлял в этот момент совсем иное и был всецело поглощен своими мыслями, — писал впоследствии Гальвани. — Меня охватила неимоверная жажда и рвение исследовать это и пролить свет на то, что было под этим скрыто».

Свои опыты Гальвани описал в 1791 г. в знаменитом «Трактате о силах электричества при мышечном движении». От наблюдательного экспериментатора не ускользнуло, что движения лапки лягушки вызваны появлением в ее нервно-мышечной ткани кратковременных электрических токов. Сначала Гальвани предположил, что возникновение этого тока вызвано атмосферным электричеством. Дальнейшие опыты убедили ученого, что «электричество находится внутри животного». Так в физике появилось учение о «животном» электричестве.

Гальвани торжествовал. С помощью «животного» электричества он старался объяснить все: и работу мышц, и нервные болезни, и тайны мышления. Но он ошибался. «Животное» электричество действительно существует, но,

чтобы его обнаружить, надо иметь дело с живым организмом, провести тончайшие исследования его. Понадобилось полтора столетия, чтобы проникнуть в сокровенные тайны нервной клетки живого организма.

А между тем Гальвани не был первооткрывателем «животного» электричества. За столетие до него голландский врач Ян Сваммердам наблюдал, как вздрогнула мышца лягушки, которую он вырезал ножом вместе с нервом. Этот факт он описал в книге «Библия природы», не придав ему никакого значения. Немного позднее швейцарец Галлер объяснял аналогичное явление особым свойством раздражимости, присущим животным.

Что же в действительности происходило с лапкой лягушки? Эту задачу суждено было решить другому итальянскому ученому — А. Вольта.

Юношеские годы Вольта проходили в ту пору, когда электричеством занимались не только ученые, но и врачи, учителя, аптекари, торговцы и даже короли. Увлекся им и Вольта.

В 1792 г. Вольта начал исследования «животного» электричества. Он перечитал трактат Гальвани и нашел в нем то, что ускользнуло от автора: упоминание о том, что лапка лягушки дергается только в тех случаях, когда ее касаются двумя различными металлическими стержнями, не присоединенными к электрической машине. Прошло несколько лет и Вольта уже твердо убедился, что «животного» электричества не существует, а «все действия исходят из металлов».

Новый, 1800 год Вольта встретил изобретением, навечно вошедшим в историю электричества. Он создал прибор, способный за счет химической энергии производить электризацию тел и, следовательно, поддерживать в проводнике движение зарядов, т. е. электрический ток.

Скромный, как большинство выдающихся ученых, он назвал свое изобретение в честь Гальвани — гальваническим элементом, а электрический ток, получающийся от этого элемента, — гальваническим током.

Элемент Вольта представлял собой высокий столб, составленный из металлических кружков — медных и цинковых, разделенных картонными прокладками, смоченными раствором щелочи или поваренной соли.

Появление вольтова столба резко изменило характер

всех последующих опытов. Было окончательно установлено, что по проводам может течь электрический ток, способный совершать определенную работу.

СОМНЕНИЯ, ПОИСКИ, ГИПОТЕЗЫ

Через 20 лет после изобретения Вольта датский физик X. Эрстед обнаружил магнитное действие электрического тока на компасную стрелку. Это открытие часто приводят в качестве типичного примера «случайного открытия». А дело было так. В 1820 г. Эрстед демонстрировал студентам опыты по электричеству. Рядом с проводом на лабораторном столе оказался не имеющий никакого отношения к опыту компас. Один из студентов обратил внимание профессора, что в то время, когда включается ток, стрелка компаса вздрагивает и поворачивается. При выключении тока она снова возвращается в исходное положение.

Здесь было над чем задуматься. Ведь еще Гильберт обнаружил отличие явлений электрических и магнитных, совершенно, казалось бы, не связанных друг с другом. Считалось, что магнит электрически нейтрален и, следовательно, в магните нет электрических токов.

Какая же может быть связь между электричеством и магнетизмом? Эрстед давно искал эту связь, но правильно дать объяснение наблюдаемому явлению не смог. Он полагал, что стрелка компаса вращается за счет «электрического конфликта», т. е. «столкновения двух различных электричеств».

Прошло всего несколько недель, и великий французский физик Андре Мари Ампер нашел объяснение опытам Эрстеда.

О явлении, открытом Эрстедом, Ампер узнал 11 сентября 1820 г. на заседании Французской Академии. Через две недели после этого он открыл основные законы взаимодействия электрических токов. Ампер установил, что два проводника, через которые протекают электрические токи, оказывают друг на друга механическое действие: притягиваются или отталкиваются, в зависимости от направления тока в них.

Размышляя о причине отклонения магнитной стрелки в опыте Эрстеда, Ампер сделал смелый вывод: магнитная стрелка поворачивается и устанавливается определен-

ным образом около проводника, по которому течет электрический ток, по той же причине, по которой взаимодействуют (притягиваются и отталкиваются) между собой два проводника с током. Особенности движения стрелки навели Ампера на мысль о том, что токи в магните имеют круговое направление, потому что их притяжение или отталкивание от проводника приводят магнитную стрелку во вращательное движение. Направление этого вращения зависит от направления тока в проводнике и от положения проводника относительно магнита.

Свои мысли об основных законах взаимодействия электрических токов Ампер изложил в докладе, прочитанном на заседании Французской Академии 25 сентября 1820 г. Ампер четко разграничил наблюдаемые явления. В случае наэлектризованных непроводящих тел, говорил он, «мы имеем дело с неподвижным электричеством — электростатикой, т. е. электричеством в покое». В случае же проводников с током «мы имеем дело с динамическим электричеством, т. е. электричеством в движении».

Ампера по праву считают основателем электродинамики. Его именем названа единица силы электрического тока. Весьма высоко оценил его вклад в науку великий английский физик Джеймс Максвелл: «Исследования Ампера, в которых он установил законы механического взаимодействия электрических токов, принадлежат к числу самых блестящих работ, которые были проведены когда-либо в науке. Теория и опыт как будто в полной силе и законченности вылились сразу из головы «Ньютона электричества».

Эрстед и Ампер открыли магнитные действия электрического тока. А спустя 10 лет английский физик Майкл Фарадей «достроил» теорию электромагнетизма. Он дал ответ на поставленный им же вопрос: если электричество может создавать магнетизм, то не может ли магнетизм создать электричество?

Начиная с 1824 г. Фарадей ставил различные опыты, пытаясь обнаружить взаимосвязь магнитных и электрических явлений. И только в 1831 г. он сделал открытие. Важнейший закон, который удалось установить Фарадею, состоял в том, что только движущееся или меняющееся по величине магнитное поле вызывает электрический ток в цепи, расположенной в сфере действия этого поля.

«Ток возникает лишь при движении магнита относительно провода, а не в силу свойств, присущих ему в по-

кое», — записал Фарадей в своей рабочей тетради. В этом суть закона электромагнитной индукции.

Пока происходит перемещение проводника и магнита, электрический ток не исчезнет. В этом заключается путь к созданию генератора электрического тока. И Фарадей проводит эксперимент. Он устанавливает между полюсами большого подковообразного магнита медный диск, с которого в процессе его вращения при помощи скользящих контактов снимает электрическое напряжение.

Открытие закона электромагнитной индукции позволило Фарадею в дальнейшем объяснить явление электрического и магнитного взаимодействия.

Научный мир был восхищен экспериментами Фарадея. И все же его теоретические построения были встречены современниками весьма противоречиво. Едва ли в то время кто-нибудь лучше понимал природу индукции, чем сам Фарадей. Обобщить воззрения Фарадея и изложить их в развернутую последовательную теорию электромагнитного поля, перевести их на язык математики было суждено английскому физику Джеймсу Клерку Максвеллу.

Глава 2
ОТ АЗБУКИ МОРЗЕ ДО ЭЛЕКТРОНИКИ

«ТЕЛЕГРАФ» БАРАБАНОВ И КОСТРОВ

Человеческое общество на всех ступенях своего развития пользовалось различными средствами связи. Даже в те далекие времена, когда еще не знали слов, люди объяснялись друг с другом с помощью условных знаков и жестов. Позднее человек стал использовать единственное доступное ему «средство связи» — пронзительный крик. Так, персы еще при царе Кире (около 530 лет до н. э.) для передачи срочных сообщений ставили на возвышенных местах людей с сильным голосом, которые по цепочке передавали криком царские приказы. Конечно, такая связь была далека от совершенства. Звук с расстоянием терял свою силу, и зачастую к конечному пункту приходило известие, искаженное по смыслу.

Более совершенным средством передачи сообщений стал африканский барабан — тамтам, который и в наши дни не утратил еще своего значения. Сообщения с помощью тамтамов передавались с необыкновенной быстротой, предупреждая племена о вторжении врага, о передвижении и намерениях пришельцев.

С незапамятных времен для передачи сообщений применяли и световые сигналы. Костры в древности были символами опасности, вестниками войн и других важных известий. На юге нашей страны до сих пор сохранились старинные курганы, с вершин которых в далекие времена подавались световые сигналы с помощью костров. Длинная цепь костров позволяла передавать сообщения на значительные расстояния.

Свет всегда был надежным ориентиром для мореплавателей. Первый маяк построен в 283 г. до н. э. греком Со-

стратом в виде 120-метровой башни. На ее верхней площадке поддерживался огонь, служивший ориентиром для кораблей, направляющихся в Александрию из разных стран Средиземноморья.

Другие примеры из истории свидетельствуют о том, что «костровый» метод сигнализации сохранился вплоть до использования для связи электричества. Однако это не означает, что на протяжении многих столетий средства связи не совершенствовались и оставались на том же уровне.

Наиболее близко к современным средствам связи стоит оптический телеграф, создателями которого были французский инженер Клод Шапп и выдающийся русский механик Иван Петрович Кулибин.

В 1789 г. К. Шапп изобрел устройство, где буквы обозначались различными сочетаниями сигналов, соответствующих определенным положениям деревянных планок, приводимых в движение рычагами. Подвижные планки крепились на шестах, устанавливаемых на крышах высоких зданий или на вершинах холмов. Каждая станция отстояла от другой на расстоянии примерно трех километров.

Первая оптическая телеграфная линия была построена в 1794 г. и соединила Париж и Лилль (225 км). Скорость передачи превзошла все ожидания. Ровно 20 мин потребовалось для того, чтобы передать сообщения от Лилля до столицы Франции.

В том же году И. П. Кулибин разработал проект «дальноизвещающей машины», а также систему передачи сигналов и оригинальный код. Однако проект Кулибина не был принят царским правительством.

Оптический телеграф Шаппа стали применять повсеместно. Самая длинная в мире (1200 км) линия оптического телеграфа была открыта в 1839 г. между Петербургом и Варшавой.

Несмотря на ряд недостатков, телеграф Шаппа, несомненно, явился шагом вперед. И все же создать более совершенные аппараты человек в то время не мог. Будущее принадлежало электромагнитному телеграфу, способному практически мгновенно передавать сообщения на большие расстояния вне зависимости от состояния погодных условий.

ТЕКСТ ПО ПРОВОДАМ

Первые попытки использовать электрический ток для передачи информации были предприняты еще в середине XVIII в. В Шотландии в 1753 г. неизвестным автором была предложена конструкция электростатического телеграфа. С помощью электростатической машины создавался мощный электрический заряд, который по проводам передавался в пункт назначения. На приемной станции этот заряд воздействовал на шарик, который притягивал к себе бумажку с обозначенной на ней буквой. Для передачи текста требовалось столько проводов, сколько букв в алфавите.

Идея создания электрического телеграфа была реализована лишь после открытия явления электромагнитной индукции. Еще в 1820 г. Ампер предложил использовать это явление для передачи сообщений на расстояние. «...С помощью такого количества проводов, сколько существует букв в азбуке, гальванического элемента, установленного вдали от стрелок и сообщающегося по желанию с концами любых проводов, можно устроить род телеграфа и с помощью его передавать на любое расстояние, через любые препятствия слова и фразы».

Однако практически реализовать идею создания электромагнитного телеграфа оказалось не так просто. Потребовалось 12 лет для создания первого пригодного для эксплуатации устройства. Это сделал выдающийся русский ученый Павел Львович Шиллинг.

В первой конструкции электромагнитного телеграфа буквы обозначались положением магнитных стрелок с прикрепленными к ним кружками, окрашенными с одной стороны в белый, а с другой стороны в черный цвет. При замыкании электрической цепи поворачивалась магнитная стрелка, а вместе с ней и кружок. Различной комбинацией черных и белых кружков можно было передавать любой текст. В дальнейшем Шиллингу удалось усовершенствовать свой аппарат, найдя «средство двумя знаками выражать всевозможные речи».

Первая публичная демонстрация телеграфного аппарата Шиллинга состоялась в 1832 г. В этом же году была успешно осуществлена связь между Зимним дворцом и Министерством путей сообщения. Так было положено начало эпохе электромагнитного телеграфа.

В истории телеграфа известны имена английских изобретателей У. Кука и Ч. Уитстона. Созданный ими еще при жизни П. Л. Шиллинга телеграф мало отличался от аппарата нашего соотечественника. Были изменены лишь незначительные детали. Например, на смену черно-белым кружкам пришли магнитные стрелки, расположенные на специальном щитке. Позднее магнитные стрелки были заменены одной стрелкой, которая перемещалась по шкале и указывала переданную букву или цифру.

Следующим шагом в развитии телеграфии стало создание записывающих аппаратов. Первый такой аппарат изобрел ученик П. Л. Шиллинга, известный русский ученый Борис Семенович Якоби. Его аппарат был установлен в 1841 г. в Петербурге для связи Зимнего дворца с Главным штабом.

У стрелочных телеграфов было много недостатков. Передача сообщений проходила медленно, ее качество определялось в основном навыками телеграфистов. Поэтому многие ученые и изобретатели искали новые технические решения. Одно из них, очень оригинальное, было найдено американцем, художником по профессии, Самюэлем Морзе.

На передающей стороне Морзе применил ключ для размыкания и замыкания цепи, изобретенный ранее Б. С. Якоби. На приемной стороне было установлено автоматическое устройство для записи электрических сигналов. Но главное в изобретении Морзе было то, что он ввел в свой телеграфный аппарат электромагнитное реле. Именно благодаря реле стали возможными передачи сигналов на большие расстояния. В самом деле, когда электрический сигнал с расстоянием ослабевал, включалось реле, которое управляло другим источником питания и тем самым усиливало ослабленный сигнал.

Заслугой Морзе следует считать его весьма совершенный телеграфный код, известный как азбука Морзе. В нем каждый звук (буква, цифра) обозначается комбинацией точек и тире. Замыкание ключа на длительное время соответствует знаку «тире», на более короткое время — знаку «точка». Интересно, что Морзе настолько удачно выбрал соотношения между комбинациями точек и тире и отображаемыми ими символами, что и сегодня его азбука широко применяется в технике связи.

Первая телеграфная линия в США, связывающая Вашингтон и Балтимор, вступила в строй в 1844 г. А спустя

десятилетие электрический телеграф стал достоянием почти всех стран Европы и Америки.

На первых порах телеграфирование осуществлялось по простой схеме: передача и прием сообщений с одной станции на другую происходили по очереди с помощью одного телеграфного аппарата. Для увеличения пропускной способности линий связи прокладывали дополнительные провода, улучшали конструкцию телеграфных аппаратов.

Однако эти усовершенствования не решали главной задачи — передачи по одному проводу все возрастающего объема информации. Началом решения этой задачи стало изобретение дуплексного телеграфирования, позволившего работать одновременно сразу двум аппаратам по одному проводу, не мешая друг другу. Дуплексный метод был предложен в 1858 г. русским математиком З. Я. Слопимским.

В 1874 г. французский ученый Жан Бодо предложил идею многократного телеграфирования, основанную на использовании паузы между знаками при передаче сообщения. Разделение передаваемых сообщений во времени производилось с помощью вращающегося распределителя, который поочередно подключал линию к различным передатчикам. На противоположном конце приемные устройства подключались к линии строго в той же последовательности.

Этот способ, помимо увеличения скорости передачи, дал и большой выигрыш в пропускной способности линий связи. Отпала необходимость в дополнительных проводах, что, естественно, повысило эффективность существующих линий.

Два года спустя Ж. Бодо предложил использовать равномерный пятизначный код, согласно которому для передачи любого знака требовалось пять единичных элементов, т. е. токовых и бестоковых посылок одинаковой длительности. Код позволял получать 32 комбинации, с помощью которых можно было осуществить передачу любого знака русского и латинского алфавита, а также цифр.

Так стала возможной передача любого текстового или цифрового сообщения на огромные расстояния. Человек получил надежное средство связи. И только моря и океаны долгие годы оставались для телеграфа непреодолимым препятствием.

Потребовались годы упорного труда, подлинного мужества первооткрывателей, чтобы дать возможность людям разных континентов, разделенных необозримыми водными просторами, практически мгновенно связываться друг с другом.

КАБЕЛИ ПЕРЕСЕКАЮТ ОКЕАН

Идея прокладки телеграфного кабеля между Англией и Францией была впервые высказана англичанином Уинстоном вскоре после появления аппарата Морзе. Однако никто всерьез не воспринял его предложения. Дело было не столько в финансировании предлагаемого проекта, сколько в недоверии к новому виду связи, который еще не успели по достоинству оценить.

Другая трудность заключалась в отсутствии надежной изоляции кабеля от воздействия морской воды. Однако вскоре выход был найден немецким инженером В. Сименсом. Он предложил изолировать кабель резиноподобным веществом — гуттаперчей, которая в отличие от резины неэластична. Но стоит опустить ее в горячую воду, как она становится податливой и ей можно придать любую форму.

В августе 1850 г. с помощью маленького буксира «Голиаф» подводный кабель длиной около 40 км связал Англию и Францию. По свидетельству очевидцев, приемный аппарат смог принять лишь одну телеграмму, а затем кабель вышел из строя. Несмотря на неудачу, возможность связи между континентами была экспериментально подтверждена, что послужило толчком для прокладки еще нескольких подводных кабелей.

Вскоре кабели легли на дно морей, соединив Англию с Голландией и Ирландией, а в 1854 г. Корсику с Италией. Успешная прокладка первых подводных линий связи навела на мысль проложить телеграфный кабель по дну Атлантического океана и соединить таким образом Америку и Европу. За осуществление этой идеи взялся американский предприниматель Сайрус Филд.

Перед прокладкой первого в мире трансатлантического кабеля предстояло решить ряд задач, и самая главная из них — исследовать дно океана: выяснить характер грунта, замерить глубины. Не менее важная, земная, задача стояла и перед специалистами-электротехниками. Необходимо было ответить на вопрос: а можно ли электрические сиг-

налы передавать по проводам на расстояния в несколько тысяч километров?

Вскоре все эти задачи были успешно решены. На месте будущей трассы удалось обнаружить относительно ровную горную гряду с небольшими перепадами глубин. Наземные испытания телеграфной линии длиной около 8000 км также показали возможность передачи электрических сигналов на такие большие расстояния.

К середине 1857 г. все было готово и американский корабль «Ниагара» отошел от берегов Ирландии. Поначалу все шло хорошо. В глубину медленно опускался кабель, между кораблем и берегом поддерживалась связь. Но через несколько дней кабель не выдержал нагрузки и оборвался. Около 600 км кабеля осталось на дне. Попытки поднять его из океанской пучины не увенчались успехом.

Спустя год Филд решает повторить попытку. Но теперь принято решение начать прокладку кабеля не с суши, а с полпути, т. е. в океане. Концы кабелей сращивают и корабли расходятся в разные стороны: «Ниагара» — в Америку, «Агамемнон» — в Англию. Не успели корабли скрыться за горизонтом, как кабель оборвался. Его подняли со дна и соединили. Но вскоре связь с кораблем опять прекратилась. Пришлось делать новое сращивание. Но и эта попытка окончилась неудачей. Потеряв около 400 км кабеля, корабли возвратились назад.

Буквально через месяц Филд предпринимает третью попытку. На этот раз все обошлось благополучно. Наконец-то в 1858 г. Европа и Америка оказались связаны телеграфом. Ликованию не было предела. Гремели салюты, гудели заводские гудки, в церквах служили бесчисленные молебны.

Но радость оказалась преждевременной. Никто не мог предположить, что по трансатлантическому кабелю будет передана лишь одна телеграмма. Однако так и произошло. Как выяснилось после длительного расследования, причина неудачи таилась в плохой изоляции кабеля, особенно в местах сращивания.

Надо было обладать огромной энергией, решительностью, верой в успех, чтобы после такого скандального провала снова приступить к прокладке кабеля между двумя континентами.

Спустя семь лет Филд снова взялся за дело. За это время было построено специально оборудованное судно

«Грейт Истерн», сконструирован новый образец кабеля, способного выдержать колоссальные нагрузки.

В июле 1865 г. корабль «Грейт Истерн» отошел от берегов Ирландии и взял курс на Америку. За 10 дней было уложено около 2400 км кабеля. Утром 2 августа раздался сигнал тревоги. Кабель, не выдержав нагрузки, оборвался. Отчаянные попытки поднять кабель с глубины более двух километров не увенчались успехом. Оставив на месте катастрофы плавающий буй, экспедиция возвратилась в Англию.

Акции «Атлантической телеграфной компании» резко упали. Однако Филд не пал духом и вскоре организовал еще одну экспедицию. В июле 1866 г. «Грейт Истерн» снова отправился в путь. На этот раз человеческое упорство победило. Работа шла без особых осложнений и через 20 дней весь кабель был положен на дно океана.

Так закончилась эта драматическая битва за установление связи между Европой и Америкой. Прокладка трансатлантической линии связи породила множество надежд и огромный энтузиазм. Телеграфные линии потянулись во все концы земного шара и через 50 лет на дне морей и океанов лежало более полумиллиона километров кабеля, по которым ежегодно передавалось, свыше 600 миллионов телеграмм.

«Точки» и «тире» постепенно завоевывали мир. Они несли людям радость и горе, надежду и спасение, сообщения о важных новостях. Но как бы точно и своевременно ни передавались известия, они оставались бесстрастными, им всегда не хватало человеческого чувства. И не случайно спустя 10 лет после прокладки подводного телеграфного кабеля мир был потрясен новым изобретением, в корне изменившим нашу жизнь.

ИЗОБРЕТЕНИЕ ТЕЛЕФОНА

Человеческая речь — весьма сложный комплекс сигналов, гораздо сложнее, чем обыкновенные точки и тире, используемые в телеграфном коде. Достаточно сказать, что ширина полосы, т. е. область частот, занимаемая телефонным сигналом, в десятки раз превышает ширину полосы телеграфного сигнала. Для телеграфного сообщения нужна полоса частот всего 100—200 Гц, а диапазон частот нашей речи лежит в пределах 300—3400 Гц. Это создает определ-

ленные трудности при передаче человеческой речи на расстояние.

В середине прошлого столетия многие из тех, кто занимался применением электричества для целей телеграфии, осознали возможность передачи речи по проводам. Впервые термин «телефон» ввел в обиход немецкий изобретатель Ф. Рейс. В 1861 г. на заседании физического общества во Франкфурте-на-Майне он продемонстрировал прибор, способный передавать на расстояние звуки музыкальных инструментов. Позже Рейс писал: «Под влиянием своих занятий физикой я в 1860 году вернулся к исследованию органов слуха, которыми занимался ранее. Вскоре мои усилия увенчались успехом. Мне удалось изобрести аппарат, при помощи которого можно было ясно и наглядно демонстрировать принцип действия уха и переносить с помощью гальванического тока любые тоны на любое расстояние. Свой аппарат я назвал „телефоном"».

Об аппарате Рейса много говорили, но воспринимали телефон как бесполезную техническую новинку, разве что пригодную в качестве забавной игрушки для детей.

Прошло 15 лет, и американский преподаватель школы глухонемых Александр Грэхэм Белл на всемирной выставке в Филадельфии продемонстрировал электрический аппарат, который достаточно точно воспроизводил человеческие голоса. Патент был вручен Беллу 7 марта 1876 г. Белл всего на два часа опередил известного американского изобретателя Элиша Грея.

В телефонном аппарате Белла передатчик и приемник имели одинаковую конструкцию. В деревянную рукоятку был вставлен металлический стержень — сердечник электромагнита, на верхнем конце которого помещалась катушка из изолированной проволоки. Над сердечником магнита Белл укрепил тонкую упругую пластинку из мягкого железа — мембрану. Обмотка электромагнита передатчика соединялась с электромагнитной системой приемника. Во время передачи речи звуковые колебания, созданные голосовыми связками человека, заставляли в такт колебаться мембрану, которая то приближалась к магниту, то удалялась от него. Такие колебания мембраны изменяли магнитное поле, в результате чего в цепи возникал индуцированный электрический ток. Этот ток передавался приемному устройству, где происходило обратное явление. Ток намагничивал сердечник электромагнита, а он в такт ко-

лебаниям мембраны передатчика то притягивал, то отпускал железную пластинку приемника. В результате при этом возникали колебания воздуха, которые воспринимались ухом человека.

Не прошло и пяти лет, как телефон Белла получил самое широкое применение. Количество телефонов, длина телефонной сети росли из года в год. И все же первые телефонные аппараты были несовершенны. Слабый электрический сигнал передавался на небольшое расстояние. Голос абонента был тихий и хриплый. Поэтому не случайно вскоре после изобретения телефона он подвергся ряду технических усовершенствований. Сначала американский изобретатель Д. Юз предложил заменить электромагнитное устройство микрофона в телефоне Белла угольным. От звуковых колебаний сопротивление угольного порошка то увеличивалось, то уменьшалось. Естественно, менялась и сила электрического тока в такт звуковым колебаниям.

Существенный вклад в усовершенствование телефона внес русский физик П. М. Голубицкий. В 1883 г. он предложил конструкцию многополюсного магнита (вместо однополюсного), а позднее создал микрофонный капсюль.

Все эти усовершенствования позволили резко увеличить громкость и четкость передачи по телефону. Заметно возросла и чувствительность телефона, и как следствие этого дальность передач достигла 350 км.

Что же касается передачи человеческой речи на сверхдальние расстояния, то еще долгие годы изобретатели и ученые не могли это осуществить. При телеграфной связи затухающие сигналы легко можно усилить с помощью реле. А в телефонных линиях такого же эффекта добиться не удавалось. Поэтому на протяжении многих лет телефонная связь на большие расстояния не была реализована.

Эту задачу успешно разрешили с помощью средств радиоэлектроники. С появлением электронной лампы стало возможным создание электронных усилителей для нужд телефонии. Электронные усилители устанавливают в телефонной линии на определенном расстоянии (40—70 км) друг от друга. Они усиливают сигнал до необходимого уровня, что позволяет вести телефонные разговоры на многие сотни и тысячи километров.

Так электронная лампа помогла технике связи решить казалось бы неразрешимую задачу.

Глава 3

ОТ ИСКРЫ ДО ЭЛЕКТРОННОЙ ЛАМПЫ

МАКСВЕЛЛ ПРЕДСКАЗАЛ — ГЕРЦ ОБНАРУЖИЛ

К моменту, когда Максвелл поставил своей целью обобщить все, что известно об электричестве и магнетизме, наука знала много способов превращения энергии магнитного поля в электрический ток и наоборот. Однако не существовало единой теории, которая позволила бы предсказывать развитие электрических и магнитных явлений во времени и пространстве в самом общем случае, при любых конкретных условиях. Задачу создания единой электромагнитной теории было суждено решить великому английскому физику Джеймсу Максвеллу.

Максвелл родился 13 июня 1831 г. в Англии, в г. Эдинбурге. С детства мальчик проявлял большой интерес и настойчивость в выяснении характерных особенностей какого-либо устройства и отыскании причин ряда явлений природы. Уже в 14 лет Максвелл написал первую научную работу — статью об овальных кривых, опубликованную в «Трудах Эдинбургского королевского общества», а в восемнадцать лет стал признанным ученым.

Широта тем, охваченных научными работами Максвелла, заставляла восхищаться не только его современников, но и ученых более позднего времени. Прожив всего 48 лет, он выполнил первоклассные работы по динамике, астрофизике, проблеме цветового зрения, кинетической теории газов, термодинамике и др. Но больше всего прославили Максвелла его работы по теории электричества и магнетизма. Он доказал, что любой проводник с переменным током излучает в пространство электромагнитные волны. Эти волны представляют собой совокупность электрических и магнитных полей, взаимосвязанных и взаимообус-

ловленных. Можно отделить поле от провода, но нельзя отделить электрическое поле от магнитного: они неразрывны в единой электромагнитной волне.

Скорость распространения таких волн не беспредельна и зависит от среды, в которой они распространяются. Максвелл рассчитал скорость распространения электромагнитных волн и получил 300 000 км/с. Но с такой же скоростью распространяется и свет. Причина такого совпадения позволила Максвеллу сделать заключение: «Мы едва ли можем отказаться от вывода, что свет состоит из поперечных колебаний той же самой среды, которая является причиной электрических и магнитных явлений».

Так в результате исследований электричества и магнетизма обнаружилось совсем неожиданное родство: волны света имеют ту же природу, что и электромагнитные волны. А точнее, свет — это электромагнитные волны, длина которых лежит в пределах приближенно от 400 миллионных до 800 миллионных долей миллиметра.

Свои выводы Максвелл сформулировал в виде нескольких уравнений, описывающих все многообразие электрических и магнитных полей.

Да, заслуга Максвелла огромна. И все же нельзя умолчать о том, что за много лет до создания Максвеллом теории электромагнитного поля аналогичные выводы были сделаны Фарадеем. Еще в 1832 г., в период своих исследований по электромагнетизму, Фарадей оставил запечатанный конверт с надписью: «Новые воззрения, подлежащие в настоящее время хранению в архивах Королевского общества», с просьбой вскрыть его через 100 лет.

Конверт был обнаружен и вскрыт только в 1938 г. В письме, датированном 12 марта 1832 г., в частности, говорилось:

«На распространение магнитного воздействия требуется время, т. е. при воздействии магнита на другой отдаленный магнит или кусок железа влияющая причина, которую я позволю себе назвать магнетизмом, распространяется от магнитных тел постепенно и для своего распространения требует определенного времени, которое, очевидно, будет найдено очень незначительным.

Я полагаю также, что электрическая индукция распространяется точно таким же образом.

Я намерен предположить, что распространение магнитных сил от магнитного полюса похоже на колебания взвол-

нованной водной поверхности или же на звуковые колебания частиц воздуха, т. е. я намерен, как это сделано по отношению к звуку, приложить к магнитным явлениям теорию колебания, которая является наиболее вероятным объяснением световых явлений».

Почему же Фарадей не опубликовал свою замечательную гипотезу? Очевидно, потому, что эта гипотеза была, пожалуй, единственной, которую он не мог проверить экспериментально. И хотя Фарадей неоднократно высказывал сходные мысли в трудах, письмах, понять до конца истинную суть явлений ни он, ни другие ученые в то время не могли. Потребовались новые исследования, чтобы теория Максвелла стала достоянием физики.

Спустя 12 лет после смерти Максвелла, в 1887 г. немецкий физик Генрих Герц экспериментально получил и принял электромагнитные волны, тем самым подтвердил справедливость идей Максвелла.

Генератор (вибратор) Герца, излучавший в пространство электромагнитные волны, по своему устройству был несложен: два металлических шара, удаленных друг от друга на расстоянии 0,5 мм. Между шарами создавалась искра, которая, по сути дела, была электрическим током, меняющимся во времени.

Приемник, который Герц размещал недалеко от генератора, также был прост: он представлял собой прямоугольный контур с искровым промежутком в одной из коротких сторон. Когда контур пересекали электромагнитные волны, в промежутке его проскакивали маленькие искорки. И это происходило всякий раз, когда в первичной цепи возникала искра. Таким образом, получалось, что электричество загадочным образом без всякого электрического контакта «переносилось по воздуху».

Герц, предположив, что получил электромагнитные волны, решил осуществить более строгую проверку. Прикрепив на стене большой цинковый лист и соединив его со всеми металлическими предметами, находящимися на стене, он обнаружил, что волны прекрасно отражались от поверхности цинкового экрана. После этого не оставалось никаких сомнений в том, что «волны Герца» есть не что иное, как предсказанные Максвеллом электромагнитные волны.

Оставалось только доказать, что эти волны по своим свойствам тождественны световым волнам. И Герц изготавливает новую аппаратуру, доказывая, что электромаг-

нитные волны распространяются прямолинейно, что они отражаются и преломляются так же, как и световые волны.

Результаты работ Герца имели громадное значение. Для физиков это прежде всего означало полный триумф теории электромагнитного поля Фарадея — Максвелла.

Прошло несколько лет, и в России впервые в мире радиоволны были поставлены на службу человеку. Это сделал наш выдающийся соотечественник Александр Степанович Попов.

ИДЕЯ НАХОДИТ ИЗОБРЕТАТЕЛЯ

А. С. Попов родился в семье священника в 1859 г. на Урале в селении Турьинские рудники (ныне город Краснотурьинск). Среднее образование он получил сначала в духовном училище, а затем в Пермской духовной семинарии. Осенью 1877 г. восемнадцатилетний юноша поступил на математическое отделение физико-математического факультета Петербургского университета. Будучи студентом, А. Попов серьезно увлекся электротехникой и в 1881 г. вступил в только что организованное в Петербурге общество «Электротехник». Ему приходилось заниматься различными монтажными работами, а также принимать участие в эксплуатации мелких электростанций, которые сооружало общество.

В те годы электротехники формировались в основном из числа физиков, самостоятельно изучавших основы электричества. И не случайно А. С. Попов, оставленный в университете после его окончания для подготовки к профессорскому званию, перешел на преподавательскую работу в Кронштадтскую минную школу.

Минная школа и Минный офицерский класс, составлявшие единое целое, были первым электротехническим учебным заведением в России. Здесь велась большая научно-исследовательская работа по электротехнике, а физический кабинет школы по праву считался лучшим в России.

Постепенно А. С. Попов стал квалифицированным электротехником. Он много читал и следил за развитием и успехами этой новой отрасли техники. Особенно заинтересовали А. С. Попова электромагнитные волны, открытые Герцем. Вскоре он прочел для офицеров Минных классов лекцию «Новейшие исследования о соотношении между

световыми и электрическими явлениями». В этой лекции он, в частности, указывал: «Если бы изобрести такой прибор, который заменил бы нам электромагнитное чувство, то его можно было применять к передаче сигналов на расстояние».

Мысли, высказанные А. С. Поповым на лекции, свидетельствуют о том, что он не только правильно оценил значение открытых Герцем электромагнитных волн, но и серьезно размышлял над практическим применением их для передачи сигналов на большие расстояния без проводов.

Построенный Герцем приемник электромагнитных волн не удовлетворил Попова. Он решил создать более чувствительный прибор, который бы улавливал ослабленные расстоянием волны. С этой целью А. С. Попов использовал прибор, изобретенный французским физиком Бранли. Прибор этот представлял собой стеклянную трубку с двумя электродами, между которыми находились металлические опилки. Как только на них попадали электромагнитные волны, они резко меняли свое электрическое сопротивление. Включив трубку в цепь с лампочкой, звонком или другим сигнальным приспособлением, можно было обнаружить появление электромагнитных волн. Бранли назвал свой прибор когерер, что означает «волнообнаружитель».

Когерер обладал серьезным недостатком: после воздействия электромагнитной волны сопротивление металлических опилок не восстанавливалось. Для этого трубку с опилками приходилось каждый раз встряхивать.

А. С. Попов усовершенствовал когерер, присоединив к нему молоточек, который сразу же после приема электромагнитных волн автоматически встряхивал опилки и тем самым восстанавливал чувствительность прибора. В дальнейшем ученый обнаружил, что если к когереру присоединить длинный провод, то дальность приема сигнала возрастает. Причем, чем выше поднят провод, тем дальше можно было осуществлять прием. Так была создана первая в мире антенна.

Датой изобретения радио принято считать 7 мая 1895 г. В этот день А. С. Попов продемонстрировал работу приемника на заседании Русского физико-химического общества. Что касается передатчика, то он уже существовал — источником колебаний служил расположенный недалеко

вибратор Герца. Как бы ставя перед собой задачу на будущее, А. С. Попов закончил свое выступление словами: «В заключение могу выразить надежду, что мой прибор при дальнейшем усовершенствовании его может быть применен к передаче сигналов на расстояние при помощи быстрых электрических колебаний, как только будет найден источник таких колебаний, обладающих достаточной энергией».

Эти слова оказались пророческими. В марте 1896 г. А. С. Попов впервые в истории осуществил беспроволочную передачу и прием сигналов на расстоянии 250 м.

Первые практические опыты по передаче сигналов без проводов начались весной 1897 г. Построенные А. С. Поповым приборы были установлены на крейсерах «Россия» и «Африка», которые находились один от другого на расстоянии до 5 км.

В 1900 г. во время работ по снятию с камней потерпевшего аварию броненосца «Генерал-адмирал Апраксин» впервые в мире была установлена практическая радиосвязь в Балтийском море на расстоянии 47 км между островом Гогланд и окрестностями города Котки в Финляндии.

Известный русский флотоводец адмирал С. О. Макаров по этому случаю прислал А. С. Попову специальную телеграмму: «От имени всех кронштадтских моряков сердечно приветствую Вас с блестящим успехом Вашего изобретения. Открытие беспроволочного телеграфного сообщения от Кутсала до Гогланда на расстоянии 43 верст есть крупнейшая научная победа».

А еще через несколько лет появились первые радиостанции, связавшие столицу с отдаленными провинциями. Так радио стало постепенно входить в жизнь миллионов людей.

Особенностью аппаратуры первых лет существования радио было то, что оно позволяло передавать и принимать только телеграфные сообщения. Для передачи же человеческой речи надо было создать более чувствительные электронные приборы, способные передавать, принимать, а главное — усиливать звуковые колебания, создаваемые человеческим голосом.

И тогда ученые вспомнили об интересном явлении, вошедшем в историю техники как «эффект Эдисона». Оно заключалось в том, что если в баллон обычной электриче-

ской лампочки, из которого откачен воздух, поместить два проводника и один из них раскалить, то (к второму электроду приложен положительный потенциал относительно раскаленного проводника) между ними прямо через разряженный промежуток потечет ток. Это было удивительно и непонятно. Ведь проводники внутри баллона ничем не были соединены. Как же электрический ток мог устанавливаться прямо в «пустоте»? Объяснение было найдено через несколько лет, когда в 1904 г. англичанин Флеминг изобрел двухэлектродную электронную лампу — диод.

Это событие обычно принимают за начало истории электроники. Между тем эта точка отсчета времени выбрана весьма условно, ибо еще в 1878 г. известный английский физик Уильям Крукс создал электроннолучевую трубку, предназначенную для исследования природы лучей (в то время они носили название «катодных лучей»). Тогда мало кто предполагал, какая большая судьба будет уготована электроннолучевой трубке в будущем.

В настоящее время электроннолучевую трубку применяют в телевидении для получения изображения на экране телевизора, в радиолокации для определения координат целей, в космонавтике и вычислительной технике, во многих исследованиях для наблюдения процессов, происходящих в различных электрических цепях.

ЛАМПА-КЛАПАН

Стеклянный, металлический или керамический баллон, в котором создан вакуум, — основная деталь любой электронной лампы. Внутри баллона лампы помещены анод A и катод K (рис. 1). Катод разогревается до требуемой температуры электрическим током от специального источника напряжения.

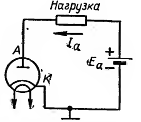


Рис. 1. Принцип действия двухэлектродной лампы.

Раскаленная нить катода испускает электроны, которые создают около катода электронное облако, обладающее отрицательным объемным зарядом. Если такой катод подключить к отрицательному полюсу источника напря-

жения, а анод соединить с положительным полюсом, то под действием электрического поля источника напряжения образуется своеобразный электронный мост, соединяющий катод и анод, и во внешней цепи также установится электрический ток. Внутри диода анодный ток будет направлен от анода к катоду. При этом, чем выше напряжение между анодом и катодом, тем больше электронов попадет на анод, тем больше будет ток, текущий через лампу.

Но увеличение анодного тока не может быть беспредельным. При достаточно большом напряжении практически все электроны, вылетевшие с катода, попадут на анод. Анодный ток в этом случае будет наибольшим, равным току эмиссии. Режим, при котором используется вся эмиссия катода, называется режимом насыщения.

Однако основным режимом работы диода является режим ограничения анодного тока объемным зарядом. В этом случае анодный ток будет меньше тока эмиссии.

Если поменять местами полюса батареи, то тогда положительный полюс источника питания будет соединен с катодом, а отрицательный — с анодом. Электронам «станет трудно» вырваться за пределы катода, а отрицательно заряженный анод не примет их, и ток через диод протекать не будет.

Итак, диод является для электронов как бы улицей с односторонним движением, т. е. он обладает свойством односторонней проводимости (электрический вентиль). Это свойство диода широко используют в электронной технике, и в частности для выпрямления переменного тока в постоянный. Диод, предназначенный для выпрямления переменного тока, называют кенотроном. Если включить кенотрон в электрическую цепь переменного тока, то он будет пропускать ток только тогда, когда его анод будет иметь положительный потенциал по отношению к катоду, при отрицательном же потенциале анода ток через лампу не протекает: она заперта.

Кенотроны делают разных типов и конструкций, на различные токи и напряжения.

Мы рассмотрели лишь одно из применений диода — кенотрон. Наряду с этим диоды широко используют в радиоаппаратуре для детектирования колебаний высокой частоты, в качестве ограничителей и для ряда других целей.

С ПОМОЩЬЮ СЕТКИ

Через два года после изобретения диода американский радиоинженер Ли де Форест предложил ввести между анодом и катодом диода еще один электрод — металлическую сетку. Так появилась первая усилительная лампа — триод, родоначальница всех современных многосеточных электронных радиоламп.

В большинстве триодов сетка выполнена в виде спирали, окружающей катод. Расстояние между сеткой и катодом обычно мало: в некоторых лампах оно составляет десятки микрометров. Сетка не создает препятствия движению электронов, но так как она расположена между катодом и анодом и совсем рядом с катодом, то оказывает на поток электронов значительно большее влияние, чем анод. Для управления анодным током требуется только изменять разность потенциалов между сеткой и катодом.

Как же влияет сетка на работу триода? Схема включения триода приведена на рисунке 2. Между анодом и катодом создано анодное напряжение E_a, а между сеткой и катодом — сеточное напряжение E_c. Если напряжение на сетке (а точнее, на промежутке «сетка—катод») отсутствует, то она не оказывает никакого влияния на работу лампы и беспрепятственно пропускает поток электронов от катода к аноду.

Предположим теперь, что сетка заряжена отрицательно (здесь и в дальнейшем напряжение на сетке следует понимать как потенциал сетки по отношению к катоду). В этом случае сетка будет отталкивать электроны обратно к катоду, в результате чего анодный ток уменьшится, а при достаточно большом отрицательном напряжении на сетке наступит момент, когда анодного тока в лампе не будет, она окажется «запертой».

Если же на сетку подать положительное напряжение (т. е. потенциал сетки по отношению к катоду будет положителен), то она станет притягивать электроны из электронного

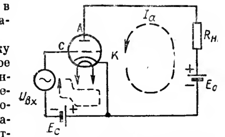


Рис. 2. Принцип действия триода.

облака, окружающего катод. Через лампу потечет анодный ток. При этом увеличение положительного напряжения на сетке повлечет увеличение анодного тока. Правда, отдельные электроны при этом попадут на сетку и в лампе возникнет сеточный ток. Но подавляющее большинство электронов достигает анода, так как его потенциал значительно выше потенциала сетки.

При дальнейшем увеличении положительного напряжения на сетке может произойти перераспределение тока в лампе: анодный ток начнет уменьшаться, а сеточный — резко возрастать. Но такой режим работы лампы обычно не используется.

Таким образом, меняя в незначительных пределах потенциал сетки по отношению к катоду, можно в широких пределах изменять анодный ток, а значит, и управлять электронным потоком в лампе. Вот почему сетка получила название управляющей.

Появление триода в технике радиосвязи было событием огромной важности. С его помощью человек получил возможность слушать радио без головных телефонов — в домах зазвучали первые громкоговорители.

Едва ли найдется область техники, где не применялись бы триоды. И хотя сейчас их все больше вытесняют полупроводники, триоды (вакуумные или полупроводниковые) решают одну и ту же основную задачу — усиливают и преобразуют электрические сигналы.

По мере освоения более коротких радиоволн, у триодов были обнаружены существенные недостатки. Главное, что у них невелик коэффициент усиления (не выше 100). И кроме того, электроды, особенно анод и сетка триода, образуют своего рода конденсаторы, что делает триод непригодным для усиления высоких частот.

Эти недостатки были устранены введением еще одной сетки — между анодом и управляющей сеткой.

ОТ ТРИОДА К ПЕНТОДУ

Тетрод — это лампа с четырьмя электродами. В нее, кроме описанных ранее электродов — катода, анода и сетки, введена еще одна, так называемая экранирующая сетка *С2* (рис. 3).

Экранирующая сетка *С2* расположена ближе к аноду *А*. Вследствие того что на нее, как и на анод, подается по-

ложительный потенциал (порядка 0,2÷0,5 E_a), она ускоряет движение электронов к аноду. А так как экранирующая сетка экранирует или как бы «заслоняет» анод, то ослабляется его поле вблизи управляющей сетки. Это приводит к тому, что изменения анодного напряжения меньше влияют на анодный ток лампы, повышая роль управляющей сетки. Следовательно, коэффициент усиления тетрода будет больше, чем у триода. Кроме того, ослабление поля между анодом и управляющей сеткой при той же разности потенциалов значительно уменьшает емкость между ними.

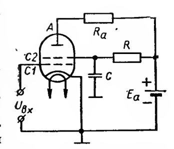


Рис. 3. Принцип действия тетрода.

Итак, введение экранирующей сетки позволило увеличить коэффициент усиления тетрода в десятки и сотни раз по сравнению с триодом. Устранены в тетроде и другие недостатки, присущие триоду. Но, несмотря на это, он не получил широкого распространения, особенно в современных радиоэлектронных приборах. Причина этому — одно весьма неприятное явление, называемое динатронным эффектом.

Дело в том, что электроны, ударяясь об анод, выбивают из него вторичные электроны, т. е. происходит вторичная электронная эмиссия из анода. Это явление наблюдается во всех лампах, но в диодах и триодах она не вызывает последствий и остается незаметной. В этих лампах вторичные электроны, вылетевшие из анода, возвращаются на него, так как он имеет наибольший положительный потенциал по сравнению с другими электродами. В тетродах же, где есть положительная (относительно катода) экранирующая сетка и где потенциал анода при больших амплитудах анодного тока может принимать более низкие значения, чем постоянный потенциал экранирующей сетки, вторичные электроны, вылетев с анода, не возвращаются на него, а притягиваются к экранирующей сетке. В результате возникает поток вторичных электронов, направленный противоположно потоку первичных электронов, что приводит к уменьшению анодного тока в лампе. В этом и состоит явление динатронного эффекта.

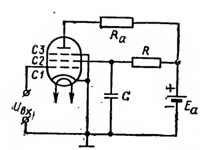


Рис. 4. Принцип действия пентода.

Устранить динатронный эффект можно, если между анодом и экранирующей сеткой ввести еще одну защитную или антидинатронную сетку *C3* (рис. 4). Такая лампа называется пентодом.

Защитная сетка соединена с катодом лампы, и, следовательно, по отношению к аноду она имеет отрицательный потенциал. Поэтому вторичные электроны, выбитые с анода, отталкиваются от защитной сетки и возвращаются обратно на анод. На электроны же основного потока, движущиеся с большими скоростями, защитная сетка, выполненная из тонкой проволоки в виде редкой спирали, влияния практически не оказывает.

Коэффициент усиления пентодов в десятки раз больше, чем у триодов, и достигает сотен и даже нескольких тысяч, благодаря чему они нашли широкое применение в электронных схемах.

Создание пентода помогло человеку освоить короткие волны. С помощью пентода можно не только усиливать сигналы, но и применять его в качестве генераторной лампы.

ЛАМПОВЫЙ ГЕНЕРАТОР

Для получения электрических колебаний высокой частоты служит колебательный контур, являющийся одним из главных элементов радиотехнической схемы. Колебательный контур состоит из катушки индуктивности $L_к$ и конденсатора $C_к$, соединенных параллельно (рис. 5). Принцип получения электрических колебаний основан на свойствах колебательного контура, в котором энергия конденсатора, запасенная в нем при его заряжении,

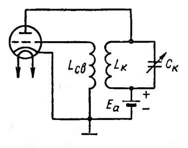


Рис. 5. Схема простейшего лампового генератора.

переходит в энергию магнитного поля катушки при разряжении конденсатора и, наоборот, энергия магнитного поля катушки переходит в электрическую энергию конденсатора, перезаряжая его.

Для того чтобы получить незатухающие колебания, необходимо в течение каждого периода пополнять энергию в контуре, т. е. добавлять столько энергии, сколько ее теряется в активных сопротивлениях проводов и катушки. Пополнять энергию необходимо в такт свободным колебаниям контура. Но частота колебаний в контуре может достигать миллионов герц! Ясно, что никаким механическим переключателям такая работа не под силу. Эту работу поручили электронной лампе.

Первая схема лампового генератора была разработана в 1913 г. Она положила начало появлению других схем, обеспечивающих наиболее удобные способы получения колебаний высокой частоты. В то время уже было известно, что радиолампа может не только усиливать электрические сигналы, но и «подавать» колебания высокой частоты прямо в антенное устройство. Оставалось лишь решить одну задачу: найти то первоначальное переменное напряжение, которое необходимо подать на сетку лампы. И эта задача была решена. Чтобы понять, как это было сделано, рассмотрим работу лампового генератора.

Колебательный контур $L_кC_к$ (см. рис. 5) включен в анодную цепь триода. Предположим, что в колебательном контуре имеется некоторая первоначальная энергия, появившаяся в нем, например, в момент включения анодного источника напряжения $E_а$. Тогда в цепи анода лампы возникнет ток, который зарядит конденсатор $C_к$. Конденсатор начнет разряжаться через катушку контура $L_к$, и это вызовет в контуре колебания, называемые собственными колебаниями контура.

Эти колебания постепенно затухают, так как часть энергии контура непрерывно расходуется на преодоление сопротивлений в нем. Однако в ламповом генераторе колебания не затухают. Они поддерживаются за счет энергии источника анодного питания $E_а$, а электронная лампа при этом служит регулятором передачи энергии от источника $E_а$ контуру $L_кC_к$. Лампа запирается и отпирается в зависимости от напряжения, возникающего на сетке лампы благодаря взаимной индукции, действующей между катушкой контура $L_к$ и катушкой «обратной» связи $L_{св}$.

Итак, при помощи лампового генератора получают необходимое переменное напряжение нужной частоты. Теперь достаточно подвести это напряжение к антенне (если она не направленная), чтобы получить электромагнитное поле в виде бегущих во всех направлениях радиоволн.

С ПОМОЩЬЮ РАДИОВОЛН

До тех пор, пока не были открыты радиоволны, передача человеческой речи на большие расстояния не представлялась возможной. Ведь звуковые волны с расстоянием быстро затухают и, кроме того, имеют сравнительно низкую частоту — от 16—20 до 18 000—20 000 Гц. Но известно, что антенна излучает в пространство лишь те волны, длина которых соизмерима с размером антенны. Это означает, что для излучения электромагнитных волн звуковой частоты нужно построить антенну высотой в несколько километров, что практически неприемлемо.

Как же удалось решить эту проблему? Чтобы ответить на этот вопрос, кратко познакомимся с основными элементами радиосвязи и охарактеризуем в общих чертах те функции, которые они выполняют (рис. 6).

Прежде всего нужно превратить звуковые волны в колебания электрического тока. Это происходит в микрофоне. Звуковые волны, попадая на микрофон, воздействуют на его мембрану и заставляют ее колебаться. Колебания мембраны передаются угольному порошку, расположенному рядом с ней. В результате плотность порошка меняется, что вызывает изменение тока в цепи микрофона. Электрические колебания, созданные микрофоном, усиливаются и подводятся к модуляторному устройству. На модулятор подаются и высокочастотные колебания, вырабатываемые генератором высокой частоты. Эти колебания необходимы для создания радиоволн. Практически для передачи радио-

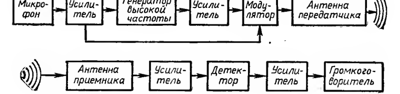


Рис. 6. Структурная схема линии радиосвязи.

вещательных программ используются частоты от нескольких сотен килогерц до десятков мегагерц, что соответствует длинам волн от тысяч метров до нескольких метров.

В модуляторе, представляющем собой устройство на электронных приборах, осуществляются изменения одного из параметров высокочастотных колебаний в соответствии с передаваемым сигналом (колебаниями звуковой частоты). Может быть, например, изменена со звуковой частотой амплитуда высокочастотных колебаний. Возможны и другие виды модуляции. В результате получается, что звук, превращенный с помощью микрофона в электрический ток, как бы «садится верхом» на сигналы высокой частоты, поэтому их и называют несущими.

Таким образом, в антенну передатчика поступают модулированные колебания, которые в виде электромагнитных волн излучаются в пространство. Эти радиоволны принимают антенны приемных устройств, которые затем необходимо усилить. Но принятый приемником модулированный высокочастотный сигнал даже после усиления не способен вызвать колебания мембраны телефона или рупора громкоговорителя со звуковой частотой. Он лишь возбудит высокочастотные колебания, которые ухо человека не воспринимает. Поэтому далее высокочастотные модулированные колебания необходимо преобразовать в сигналы звуковой частоты. Этот процесс называется детектированием. Детектор как бы снимает «звуковой узор» с колебаний высокой частоты. Затем эти токи, после предварительного усиления, пропускают через звуковую катушку громкоговорителя и получают такой же звук, какой заставил колебаться мембрану микрофона. Так завершается весьма сложный процесс радиопередачи.

ОТ КИЛОМЕТРОВ ДО МИКРОМЕТРОВ

Как много интересного открывает перед нами мир радиоволн! Удивительно, не правда ли, что простым поворотом ручки настройки радиоприемника за какие-то секунды можно «попасть» из одной страны в другую. Но почему тысячи одновременно работающих станций не мешают друг другу?

Дело в том, что каждая радиопередающая станция работает на строго определенной частоте. Причем по международному соглашению (за исключением коротких волн)

каждый радиопередатчик должен занимать полосу частот 9 кГц. Это как раз и дает возможность получить между двумя несущими частотами разницу в 9 кГц, для того чтобы два радиопередатчика не мешали работать друг другу.

На заре радиотехники радисты больше всего заботились о том, как увеличить дальность связи. Они заметили, что, чем длиннее волна, тем дальше слышна радиостанция. Поэтому для связи старались применять наиболее длинные волны — 25—30 км.

Сверхдлинные, от 10 до 100 км (30—3 кГц), и длинные волны, от 1 до 10 км (300—30 кГц), хорошо огибают Землю, хотя и теряют на своем пути значительную часть энергии. Поэтому для радиосвязи на большие расстояния необходимы мощные передатчики (мощностью в несколько сотен и даже тысяч киловатт) и высокие дорогостоящие антенны. На этих волнах работают некоторые радиовещательные станции, радиостанции для глобальной радиосвязи, обеспечивающие связь с объектами, находящимися на любом расстоянии от передатчика (в том числе и с подводными лодками в погруженном состоянии), служба точных частот, необходимая для систем связи во всех диапазонах частот, службы сигналов точного времени и метеосводок.

Под диапазоном средних волн условно понимают радиоволны длиной от 100 до 1000 м (3—0,3 МГц). Эти волны заметно поглощаются ионосферой, причем в дневные часы значительно больше, чем в ночное время. Поэтому днем на средних волнах работает всего три-четыре станции, а вечером — несколько десятков.

Диапазон средних волн использует радиовещание, радиотелеграфная и радиотелефонная связь, радионавигация. Известно, что высококачественная передача звука может быть обеспечена при условии, если радиостанция занимает полосу частот шириной 10 кГц. Легко подсчитать, что в средневолновом диапазоне могут одновременно работать (с учетом того, что ближайшие по частоте станции должны отстоять одна от другой на 9 кГц) свыше ста радиовещательных станций. В этом же диапазоне, согласно международному соглашению, на волнах длиной около 600 м передаются сигналы бедствия (SOS).

К диапазону коротких радиоволн относятся волны в интервале от 10 до 100 м (30—3 МГц). Этот диапазон частот, как никакой другой, используется телеграфными, те-

лефонными, навигационными и радиовещательными станциями. В этом легко убедиться, вращая ручку настройки радиоприемника.

Долгое время считалось, что, поскольку короткие волны распространяются прямолинейно, принимать их дальше видимого горизонта нельзя. Поэтому специалисты отнесли короткие волны к числу неудобных и прекратили проектирование для этого диапазона радиовещательных станций.

Но в начале 20-х годов нашего столетия произошло событие, озадачившее многих радиоспециалистов. Было обнаружено, что с помощью любительских коротковолновых радиостанций можно устанавливать связь с очень далекими корреспондентами. При этом передатчик потреблял ничтожную мощность — не больше мощности обычной электролампочки.

Для объяснения этого явления были проведены интересные эксперименты. Благодаря им удалось установить, что короткие радиоволны способны многократно отражаться от ионизированного слоя атмосферы Земли, который действует на эти радиоволны подобно действию зеркала на световые лучи. И самое интересное при этом, что отраженные радиоволны на своем пути почти не теряют энергию, позволяя тем самым устанавливать дальнюю связь с помощью передатчиков небольшой мощности.

Чрезвычайно большую роль в деле освоения коротких радиоволн сыграла Нижегородская радиолаборатория. Опыты, проведенные в ней еще в 1920—1921 гг., показали, что на длине волны 100 м можно осуществлять уверенную радиосвязь в течение всей ночи на расстоянии 2000—3000 км передатчиком незначительной мощности (порядка 50—100 Вт).

В 1923 г. М. А. Бонч-Бруевич построил на специально сконструированной им лампе передатчик на коротких радиоволнах (96 м) мощностью 15 кВт. Работа этого передатчика была слышна практически во всех отдаленных районах земного шара. В дальнейшем под руководством М. А. Бонч-Бруевича были созданы специальные радиолампы, позволившие перейти к практическому освоению еще более коротких радиоволн — 20—50 м.

Если короткие радиоволны оказались «популярными» из-за их способности достигать весьма отдаленных районов земного шара, то ультракороткие радиоволны (УКВ)

имеют иные возможности. Только на метровом участке УКВ (от 10 до 1 м) могут одновременно работать столько станций, сколько в диапазоне коротких, средних и длинных волн, вместе взятых. Ультракороткие волны занимают диапазон от 10 м до 1 мм (30 МГц—3000 ГГц). Этот большой диапазон условно разделяют на несколько поддиапазонов: метровые волны — от 1 до 10 м (3—0,3 ГГц); дециметровые волны — от 10 см до 1 м (3000—300 МГц); сантиметровые волны — от 1 до 10 см (30—3 ГГц); миллиметровые волны — от 1 мм до 1 см (300—30 ГГц); субмиллиметровые волны — от 0,1 до 1 мм (3000—300 ГГц).

Область практического применения диапазона УКВ весьма обширна: радиовещание, телевидение, радиолокация, радиолюбительская связь, радиорелейная связь, астрорадионавигация, космическая связь и др. Теперь становится ясно, почему радиоэлектроника всегда стремилась освоить более короткие волны. Например, диапазон УКВ настолько «просторен», что можно выбирать полосу частот любой ширины и вести передачу самого высокого качества без опасности создания взаимных помех.

Но есть и другая причина, заставляющая специалистов «укорачивать» волны. Для решения целого ряда задач необходима направленность излучения: волны должны излучаться антенной не во всех направлениях, а в каком-либо одном направлении. Направленные антенны обладают рядом преимуществ. Во-первых, излучаемая энергия используется более рационально, так как она направляется узким пучком к корреспонденту. Благодаря этому можно при меньших мощностях перекрыть большие расстояния. Во-вторых, значительно уменьшается воздействие помех от других станций, а также атмосферных и промышленных помех.

На самых длинных волнах резко выраженную направленность получить практически невозможно. На УКВ проблема направленности упрощается настолько, что антенны нетрудно разместить на автомобиле, корабле, самолете.

Диапазон УКВ все шире используют для радиосвязи. Для увеличения дальности связи на расстоянии 25—30 км друг от друга строят станции, которые принимают сигналы, усиливают их и передают следующей. Организация ретрансляционных станций позволяет существенно расширить возможности для осуществления многока-

нальной связи (вести одновременно множество телеграфных и телефонных передач).

В последние годы, используя выдающееся научное достижение—создание оптических квантовых генераторов,—удалось освоить волны длиной до десятых долей микрометра. Здесь можно разместить не только миллионы телевизионных каналов связи, но и осуществить связь практически на неограниченных расстояниях.

Изучением принципов работы оптических квантовых генераторов, созданием и практическим применением их занимается одна из самых молодых наук — квантовая электроника. Она возникла на стыке трех наук: оптики, электроники и квантовой механики. Но, несмотря на молодость, квантовая электроника оказывает все возрастающее влияние на развитие многих областей науки и техники.

«ГАЗЕТА БЕЗ БУМАГИ И „БЕЗ РАССТОЯНИЙ..."»

Изобретение радио, которому в 1980 г. исполнится 85 лет, принесло славу его творцу и русской науке. Однако в царской России вплоть до Великой Октябрьской социалистической революции радио не получило должного развития. Несмотря на огромные усилия многих представителей передовой русской технической интеллигенции тех лет, в России так и не удалось создать отечественную радиопромышленность. Только после Великой Октябрьской социалистической революции стало возможным решить эту проблему.

История развития советской радиотехники неразрывно связана с именем Владимира Ильича Ленина, неоднократно подчеркивавшего огромное значение радио как могучего средства пропаганды и агитации коммунистического воспитания трудящихся, неустанно уделявшего много внимания вопросам радиостроительства. Многочисленные записки и высказывания В. И. Ленина свидетельствуют о высокой оценке им возможностей радио. Декреты Советского правительства о развитии радио, составленные по поручению Владимира Ильича и отредактированные им, с полным правом можно назвать ленинским планом радиофикации. Они определили программу развития радиотехники в нашей стране, строительства радиостанций, создали условия для организации сети радиолабораторий и научно-исследовательских институтов.

Утром 25 октября (7 ноября) 1917 г. В. И. Ленин написал первый документ Великой Октябрьской социалистической революции — воззвание «К гражданам России!». В нем сообщалось о низложении Временного правительства и переходе власти к Военно-революционному комитету — органу Петроградского совета рабочих и солдатских депутатов. Это воззвание, срочно переданное радиостанцией крейсера «Аврора», было принято не только в России, но и за границей. Радио мгновенно известило весь мир о победе Октября, о начале новой, социалистической эры.

В ночь на 30 октября (12 ноября) радиостанция Петроградского военного порта «Новая Голландия» по поручению В. И. Ленина передала по радио обращение Совета Народных Комиссаров, в котором говорилось: «Всероссийский съезд Советов выделил новое Советское правительство. Правительство Керенского низвергнуто и арестовано. Керенский сбежал... Сообщаем для сведения, что съездом Советов, который разъехался уже, приняты два важных декрета: 1) о немедленном переходе всех помещичьих земель в руки крестьянских комитетов и 2) о предложении демократического мира.

Председатель Советского правительства
Владимир Ульянов (Ленин)»[1]

В наиболее напряженные моменты первых месяцев становления Советской власти В. И. Ленин неоднократно посылал радиограммы через Царскосельскую радиостанцию, а после переезда Советского правительства в Москву — через Ходынскую радиостанцию. Радиограммы, начинавшиеся словами **«Всем, всем»**, содержали важные и срочные сообщения, декреты и постановления правительства, рассказывали о положении в стране и на фронтах, разоблачали ложь, распространявшуюся буржуазными газетами о молодой Советской республике. Радио в ту пору было не только важнейшим, но порой и единственным средством связи.

Радиограммы «Всем, всем» размножались всеми возможными в то время способами: печатались в газетах, распространялись в виде листовок. Благодаря этим радио-

[1] Ленин В. И. Полн. собр. соч., т. 35, с. 41.

граммам слово «радио» стало хорошо знакомо населению и в его представлении связывалось с новым средством передачи сообщений, «изобретенным» большевиками.

Радиотелеграфная информация, предназначенная широким народным массам, была делом новым. По существу, это были радиовещательные передачи, несмотря на то что передавались они по радиотелеграфу. Такой вид связи впервые был широко применен в нашей стране.

Объем передаваемой информации непрерывно возрастал. Однако передающая радиосеть Народного комиссариата почт и телеграфов (НКПиТ) не могла справиться с этой задачей, так как у нее было всего четыре передающих и 67 приемных радиостанций. Выход из создавшегося положения нарком почт и телеграфов В. Н. Подбельский изложил в своем докладе правительству. Проект декрета о централизации радиотелеграфного дела в стране и сосредоточении его в НКПиТ был представлен на рассмотрение В. И. Ленину и утвержден на заседании Совнаркома в июле 1918 г.

Этот первый советский документ о радио — «Декрет о централизации радиотехнического дела Советской республики» — положил начало радиостроительству и созданию отечественной радиопромышленности.

В результате принятых мер к концу 1918 г. радиостанции для приема циркулярных сообщений работали в 80 пунктах, а в 1922 г. — почти во всех районах страны.

Другим документом, который подписал В. И. Ленин 2 декабря 1918 г. и который сыграл важнейшую роль в организации научно-исследовательских работ в области радиотехники, было «Положение о радиолаборатории, о мастерской Народного комиссариата почт и телеграфов».

Решение В. И. Ленина создать Центральный научно-исследовательский радиотехнический институт со столь широкими задачами, несмотря на гражданскую войну, разруху, было смелым и подлинно революционным. Настойчиво и неуклонно Владимир Ильич добивался потом выполнения этих решений, а коллектив радиолаборатории, созданной на основании «Положения» в Нижнем Новгороде, постоянно ощущал ленинскую заботу, помощь и поддержку.

Коллектив Нижегородской радиолаборатории сделал очень много для развития радиотехники в нашей стране. Им были разработаны конструкции и изготовлены элект-

ронные лампы различной мощности, начиная от приемно-усилительных и кончая 100-киловаттной генераторной. Разработка последней, начавшаяся в 1923 г., была поистине выдающимся достижением того времени.

Радиолаборатория разработала мощную радиотелефонную станцию для Москвы, а вслед за ней — серию радиовещательных станций типа «Малый Коминтерн», мощностью 1,2 кВт. Крупнейшим радиовещательным передатчиком, построенным лабораторией, был так называемый «Новый Коминтерн» (40 кВт в антенне), установленный в 1926—1927 гг. на Шаболовке в Москве.

30 июля 1919 г. Совет Труда и Обороны принял специальное постановление, обязывающее НКПиТ срочно построить в Москве радиостанцию для обеспечения надежной и постоянной связи центра республики с ее окраинами и западными государствами, оборудовать ее наиболее современными приборами и машинами. Выполняя постановление, НКПиТ построил на Шаболовке металлическую башню высотой 150 м по оригинальному проекту инженера В. Г. Шухова. Работа мощного 100-киловаттного передатчика с антенной, установленной на башне, началась 19 марта 1922 г. Благодаря большой мощности и высокой антенне передачи радиостанции были хорошо слышны не только в отдаленных уголках нашей страны, но и во всей Европе, а сама Шуховская башня на многие годы стала эмблемой советского радио.

Выполняя задание В. И. Ленина — разработать радиотелефон, М. А. Бонч-Бруевич, возглавлявший Нижегородскую радиолабораторию, сконструировал мощную генераторную лампу. Он нашел оригинальное и смелое решение для преодоления главной трудности в создании такой лампы — отвода тепла с анода мощной лампы: лампа была выполнена с наружным медным анодом, охлаждаемым проточной водой. На этих лампах в лаборатории был собран макет радиотелефонного передатчика и начаты пробные передачи речи. 5 февраля 1920 г. В. И. Ленин пишет известное всем радиоспециалистам письмо к М. А. Бонч-Бруевичу:

«Михаил Александрович!

...Пользуюсь случаем, чтобы выразить Вам глубокую благодарность и сочувствие по поводу большой работы радиоизобретений, которую Вы делаете. Газета без бумаги и «без расстояний», которую Вы создаете, будет великим

делом. Всяческое и всемерное содействие обещаю Вам оказывать этой и подобным работам.

С лучшими пожеланиями
В. Ульянов (Ленин)»[1]

В декабре 1920 г. макет радиотелефонного передатчика был перевезен из Нижегородской лаборатории в Москву и установлен на Ходынской радиостанции. С этой радиостанции была осуществлена первая опытная радиотелефонная передача в Берлин, показавшая прекрасную слышимость, четкую и ясную речь.

27 января 1921 г. Совет Народных Комиссаров принял декрет о строительстве в стране сети радиотелефонных станций, а уже 17 июня 1921 г. на Театральной, Серпуховской, Елоховской, Андропьевской площадях Москвы, на Девичьем Поле и у Пресненской заставы из рупоров, укрепленных на столбах, началась передача «устной газеты» — последние известия РОСТА. В дальнейшем такие передачи можно было слушать каждый вечер.

27 октября 1922 г. в Москве была сдана в эксплуатацию Центральная радиотелефонная станция, официальное открытие которой состоялось 7 ноября. Мощность станции в радиотелефонном режиме достигала 12 кВт, что по тому времени было мировым рекордом (радиостанция в Нью-Йорке в это время имела мощность всего 1,5 кВт, станции в Париже и Германии — по 5 кВт).

В марте 1927 г. была введена в эксплуатацию радиовещательная станция «Новый Коминтерн», имевшая мощность уже 40 кВт, а в 1933 г. была построена 500-киловаттная станция. Это были самые мощные радиостанции на земном шаре.

В. И. Ленин, называвший радио газетой «без бумаги» и «без расстояний», предвидел то время, когда вся Россия будет слушать эту газету, читаемую в Москве. И это время настало. Радио стало реальной действительностью, повседневным фактом в нашей стране, которая за годы Советской власти покрылась густой сетью радиовещательных станций и узлов. Миллионы советских людей, включая свои громкоговорители или радиоприемники, слушают новейшую информацию, лекции и доклады, театральные постановки и концерты.

---

[1] Ленин В. И. Полн. собр. соч., т. 51, с. 130.

Глава 4

«ВТОРОЕ ЗРЕНИЕ»

ЧТО ТАКОЕ РАДИОЛОКАЦИЯ?

Этот вопрос почти наверняка не вызовет затруднений у читателя. Журналы, радио, телевидение достаточно хорошо познакомили нас с ее возможностями и достижениями.

С помощью радиолокации можно за несколько секунд воспроизвести картину окружающей местности, проследить за движением самолетов, кораблей, ракет. Вывод космических кораблей на орбиту, наблюдение за траекторией их полета, мягкая посадка межпланетных станций и приземление космических кораблей, уточнение расстояния до Луны, Марса, Венеры — вот далеко не полный перечень задач, выполняемых сегодня радиолокационными станциями.

В настоящее время создано огромное число различных радиолокационных приборов, отличающихся и выполняемыми задачами, и схемами построения. Среди них есть такие, которые умещаются в очках, но есть и такие, которые весят сотни и тысячи тонн.

Радиолокация — это обнаружение и точное определение местоположения различных объектов в воздухе, на воде и на суше с помощью радиоволн. Явление, лежащее в основе радиолокации, связано с именем изобретателя радио А. С. Попова. Летом 1897 г. при проведении в Кронштадтской гавани опытов по увеличению дальности радиосвязи было обнаружено отражение радиоволн от кораблей. Радиоволны, посланные с одного из кораблей, встречали на своем пути препятствие и, отразившись от него, не доходили до другого корабля.

В своем отчете об этих опытах А. С. Попов писал:

«...Наблюдалось также влияние промежуточного судна. Так, во время опытов между «Европой» и «Африкой» попадал крейсер «Лейтенант Ильин», и если это случалось при больших расстояниях, то взаимодействие приборов прекращалось, пока суда не сходили с прямой линии».

В то время явление отражения электромагнитных волн не нашло практического применения. Тем не менее А. С. Попов впервые сделал вывод, что радиоволны со временем станут применять для обнаружения невидимых целей и объектов: «Применение источника электромагнитных волн на маяках в добавление к световому или звуковому сигналам может сделать видимыми маяки в тумане и в бурную погоду; прибор, обнаруживающий электромагнитную волну, звонком может предупредить о близости маяка, а промежутки между звонками дадут возможность различать маяки».

Первым прообразом отечественной радиолокационной станции была ионосферная станция, созданная в 1931 г. под руководством М. А. Бонч-Бруевича. Основной ее задачей было исследование верхних слоев атмосферы — ионосферы. Измеряя время прохождения радиоволн до ионизированного воздушного слоя и обратно, удалось впервые определить расстояние, на котором находится ионосфера (начинается на высоте 50—60 км).

В последующие годы стало ясно, какие огромные преимущества сулит радиолокация для обнаружения далеких целей в авиации и сухопутных войсках, в военно-морском флоте и в войсках ПВО.

К числу первых радиолокационных станций, взятых на вооружение ПВО нашей страны, следует отнести станцию РУС-1 (радиоулавливатель самолетов 1) и подвижную станцию «Редут». Последняя получила первое боевое крещение во время войны с белофиннами в 1939—1940 гг.

В последующие годы были разработаны новые образцы радиолокационных устройств, которые хорошо зарекомендовали себя в годы Великой Отечественной войны. Кстати, под Москвой радиолокаторы не раз «засекали» вражеские самолеты и наводили истребителей на фашистские бомбардировщики.

В послевоенные годы была освоена радиолокация в сантиметровом диапазоне радиоволн. Этому в значительной степени способствовало бурное развитие радиоэлектроники.

ПРИНЦИПЫ РАДИОЛОКАЦИИ

Как отмечалось выше, в основу радиолокации положено явление отражения радиоволн от различного рода объектов. Сущность этого явления состоит в следующем. Электромагнитные волны, излучаемые передатчиком, встречая на своем пути различные объекты, возбуждают на их поверхности электрические колебания. Их величина пропорциональна проводимости поверхности объекта. Объект, в свою очередь, начинает посылать во все направления радиоволны, поскольку он сам становится вторичным источником излучения.

В радиолокации используется также свойство прямолинейности распространения электромагнитных волн. Если антенна передатчика будет излучать электромагнитные волны во все стороны, то тогда невозможно будет определить, откуда к станции приходит отраженная объектом волна, а значит, и нельзя будет узнать направление на объект. Поэтому в радиолокационных станциях применяют антенны остронаправленного действия, т. е. антенны, излучающие электромагнитную энергию в виде узкого направленного луча (подобно прожектору). Такой луч можно создать антеннами в виде параболических зеркал.

Но одна лишь направленность радиолуча не позволяет определить положение цели в пространстве, так как при этом неизвестно расстояние до нее. Для определения этого расстояния необходимо знать время запаздывания отраженного от цели сигнала относительно так называемого зондирующего сигнала. Для этой цели применяют импульсный режим излучения электромагнитной энергии. Передатчик излучает волны кратковременными импульсами, а в промежутках между излучениями (во время пауз) осуществляется прием отраженных радиоволн. По интервалу времени между излученным в направлении цели сигналом и его отражением определяют дальность цели.

В радиолокации используют электромагнитные колебания сверхвысокой частоты (СВЧ).

КАК РАБОТАЕТ РАДИОЛОКАТОР?

Аппаратуру станции составляют следующие основные устройства (рис. 7): радиолокационный передатчик; антенная система; приемник; индикатор (электроннолучевая трубка); антенный переключатель; синхронизатор и источник электропитания.

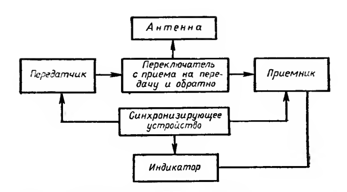


Рис. 7. Упрощенная схема импульсного радиолокатора.

Передатчик вырабатывает электромагнитные колебания, которые поступают в антенну, возбуждая в ней такие же колебания. Антенна излучает в пространство радиоволны. Излучение радиоволн может происходить как в виде импульсов, так и в виде непрерывных сигналов. В первом случае передатчик работает кратковременно в течение тысячных или миллионных долей секунд. Эти импульсы следуют один за другим с определенной частотой, называемой частотой повторения импульсов. При этом подбирают такую частоту повторения, которая позволяла бы получать в промежутках между работой передатчика отраженный сигнал.

Отраженная волна улавливается той же излучающей антенной или другой, тоже остронаправленной антенной. Антенный переключатель позволяет использовать одну и ту же антенну и для приема, и для передачи. Обнаруживаемые объекты (цели), пересекаемые радиоволнами, отражают часть энергии идущей волны, причем лишь небольшая часть этой энергии отражается в направлении станции. Следовательно, энергия отраженного сигнала чрезвычайно мала. Поэтому прием таких слабых сигналов представляет собой весьма сложную проблему, для решения которой применяют высокочувствительные приемники.

Приемник выделяет полезный отраженный сигнал, который затем усиливают и преобразуют в форму, удобную для измерения координат цели на экранах индикаторов.

В качестве индикаторов используют электроннолучевые трубки.

Для нормальной работы радиолокатора необходима синхронизация передатчика с индикатором, т. е. нужно, чтобы момент излучения зондирующего импульса и начало движения луча по экрану индикатора строго совпадали. Это согласование выполняет синхронизатор.

Для некоторых целей применяют радиолокаторы с непрерывным излучением радиоволн. В этом случае на станции устанавливают две антенны — одну для излучения, другую для приема сигналов.

Прием отраженных сигналов в радиолокаторе происходит следующим образом. Антенна передатчика излучает радиоволны определенной частоты. При отражении от неподвижного объекта на вход приемника поступает сигнал той же частоты. Если же объект перемещается, частота отраженного сигнала изменяется: при приближении частота становится выше, при удалении — ниже.

Если при импульсном методе работы радиолокационная станция обнаруживает все цели подвижные и неподвижные, то при использовании непрерывного метода станция получает «отклик» только от движущихся целей, так как эхо-сигнал от неподвижных целей приходит с неизменной частотой и приемником не регистрируется. (Необходимо заметить, что локаторы непрерывного излучения с частотной модуляцией регистрируют и неподвижные цели.)

Известно, что частота f электромагнитных колебаний связана со скоростью их распространения c и длиной волны λ соотношением:

$$f = \frac{c}{\lambda}.$$

Пусть цель приближается к нашей станции, тогда частота принятого сигнала будет:

$$f_1 = \frac{c+v}{\lambda},$$

где v — скорость движения цели.

Зная разность между частотами двух сигналов — принятого приемником и зондирующего, можно определить скорость движения цели:

$$F = f_1 - f = \frac{c+v}{\lambda} - \frac{c}{\lambda} = \frac{v}{\lambda}.$$

Разность этих двух частот принято называть частотой Доплера (по имени австрийского физика Х. Доплера, открывшего в 1842 г. явление сдвига частоты). На использовании эффекта Доплера строятся приборы измерения скорости движения объектов и селекторы движущихся целей.

РАДИОЛОКАТОРЫ В ДЕЙСТВИИ

Первые радиолокационные станции поступили на вооружение армий и использовались для обнаружения самолетов. К ним предъявлялись очень скромные требования: нужно было заблаговременно предупредить о появлении самолетов противника, чтобы успеть подготовиться к их встрече. Со временем функции радиолокационных станций значительно расширились, и сейчас они используются не только в армии, но и народном хозяйстве.

Гражданская авиация снабжена радиолокационной техникой, пожалуй, не меньше, чем военная. С помощью этой техники ведется управление воздушным движением, обеспечивается безопасность полетов самолетов, осуществляется их посадка в трудных метеорологических условиях.

Специальные станции метеорологического обеспечения полетов определяют местоположение опасных грозовых фронтов, их высоту и интенсивность, «нащупывают» свободные проходы между облаками, ведут непрерывное наблюдение за развитием и распространением ураганов и штормов.

С помощью радиолокации штурман может проверить и уточнить курс самолета, определить свое местоположение, измерить высоту полета, отыскать аэродром.

Специальные радиолокационные маяки всегда готовы помочь самолету. Приемник маяка принимает импульс — запрос радиолокатора самолета, усиливает его и включает с его помощью специальный передатчик, излучающий легко распознаваемый сигнал маяка.

На борту самолета имеется панорамная радиолокационная станция, оборудование для слепой посадки, система предотвращения столкновений в воздухе, аппаратура системы опознавания «свой — чужой». Панорамный радиолокатор (иногда его называют радиолокатор кругового обзора) производит обзор местности, над которой проле-

тает самолет. На экране отображается как бы фотография местности, которая дает возможность контролировать правильность курса.

Морской флот также оснащен различным радиолокационным оборудованием, без которого в наши дни немыслимо ни одно плавание в безбрежных морских и океанских просторах. На современных кораблях установлено от одной-двух до 35 радиолокационных станций. Станция кругового обзора позволяет штурману наблюдать за окружающей обстановкой и выбирать безопасный курс судна, верно подойти к причалу, избежать столкновения с другими судами в ненастную погоду.

Для наблюдения за воздушным пространством устанавливают специальную радиолокационную станцию, помогающую охранять корабль в случае воздушных налетов самолетов противника.

Станции проводки судов, устанавливаемые вблизи побережья, помогают штурманам при заходе в порт и выходе из него в туман и плохую погоду.

На узких судоходных участках рек, представляющих определенную опасность для судов наличием отмелей и высокой насыщенностью движения судов, устанавливают береговые радиолокаторы.

Для спасения мореплавателей при стихийных бедствиях применяют специальные станции, которые даже при сильном шторме позволяют обнаруживать плавающие шлюпки на расстоянии в десятки километров.

Радиолокация нашла применение и для сухопутных видов транспорта.

Читатели, вероятно, не раз обращали внимание на то, что на многих автострадах установлены транспаранты с обращением к водителям: «Внимание! Движение контролируется вертолетами и радарами». Автомобили ГАИ оборудованы специальными радиолокационными станциями, позволяющими эффективно управлять движением на автомобильных дорогах.

В некоторых странах вдоль дорог и в туннелях установлены специальные радиолокационные датчики, регулирующие движение. Они посылают сигналы «путь закрыт» автомобилям, нарушившим определенный интервал или превысившим установленную скорость движения.

Обсуждается и другой вариант использования радиолокации для этой цели. Предполагается в недалеком бу-

дущем устанавливать на автомобили миниатюрные радиолокаторы, которые будут управлять его тормозным устройством. «Заметив» препятствие, радиолокатор даст команду на остановку автомобиля. Такое автоматическое устройство гораздо надежнее и не зависит от самочувствия и степени усталости водителя.

Широкое применение находит радиолокация и в научных исследованиях. Ее используют для составления карт земной поверхности, наблюдения за атмосферой, ведения ледовой разведки, разведки трасс будущих железных дорог и т. п.

В сельском и лесном хозяйствах радиолокация помогает контролировать состояние ирригационных систем, исследовать плотность растительного покрова, обнаруживать лесные пожары, определять структуру и состав почвы.

Важнейшую роль играет радиолокация в космических исследованиях. Ни один запуск космического корабля не обходится без интенсивной работы радиолокационных станций.

Радиолокация позволила определить и уточнить расстояние до Луны, Венеры, Марса. Осуществлен успешный эксперимент по радиолокации Солнца, в результате которого удалось получить новые данные о характере радиоизлучения Солнца, о движении массы солнечной короны и о скорости солнечного ветра.

Несмотря на огромные достижения, радиолокация продолжает бурно развиваться. Пока еще трудно говорить о ее возможностях в ближайшем будущем, но уже сейчас можно представить тот огромный объем работы, который предстоит выполнить с помощью радиолокации.

Глава 5

ПОЛУПРОВОДНИКИ НАСТУПАЮТ

«ПОЛОВИНЧАТЫЕ» ВЕЩЕСТВА

Тридцать лет назад объяснения термина «полупроводники» не было, пожалуй, ни в одном словаре. Лишь немногочисленной группе специалистов было ясно, что это такое. Теперь же без полупроводников не обходится ни одна отрасль науки и техники.

Что же такое полупроводники? По меткому замечанию академика А. Ф. Иоффе, это «почти весь окружающий нас неорганический мир». И действительно, полупроводники — весьма широко распространенные в природе вещества. Пожалуй, можно сказать, что полупроводники представляют собой группу веществ гораздо более обширную, чем проводники и изоляторы, вместе взятые. Однако для производства полупроводниковых приборов применяют, главным образом, германий и кремний, а также полупроводники в виде химических соединений, таких, например, как арсенид галлия, фосфорид галлия, антимонид индия.

Кремний — один из самых распространенных в природе элементов. Как химический элемент он известен ученым относительно давно. Кремний был открыт шведским химиком И. Берцелиусом в 1823 г. и впервые получен в свободном состоянии в 1825 г. Несколько позже, в 1886 г., был открыт германий. Сделал это немецкий ученый К. Винклер, подробно исследовавший свойства нового вещества и в честь своей родины давший ему имя германий.

Интересно отметить, что существование германия и основных его свойств еще за 15 лет до его открытия предсказал великий русский химик Д. И. Менделеев, сделавший это на основании разработанной им периодической системы элементов.

Германий и кремний имеют много общих свойств. Но если кремний на Земле есть в изобилии, то германий — редкий элемент; его содержание в минералах составляет обычно доли процента.

Кристалл арсенида галлия представляет собой химическое соединение мышьяка с галлием. По сравнению с германием и кремнием он значительно меньше подвержен воздействию температуры и радиации, что делает его незаменимым при изготовлении целого ряда полупроводниковых приборов.

Но есть много и других полупроводников, из которых одни уже используются, а другие только начинают раскрывать свои тайны. Уже сейчас широкое применение находят полупроводниковые соединения элементов третьей и пятой, второй и шестой групп таблицы Менделеева, а также карбид кремния.

Полупроводники занимают промежуточное место между металлами, обладающими высокой удельной электропроводимостью и изоляторами, практически не проводящими электрические заряды. Однако замечательные электрические свойства полупроводников определяются не тем, что они не так хорошо проводят электричество как металлы и не столь плохо как изоляторы, а вследствие других причин, свидетельствующих о том, что между металлами и полупроводниками существуют принципиальные различия. Среди этих причин немаловажную роль играет особый характер связи электронов в атомах полупроводников.

Как ведут себя электроны в проводниках и изоляторах? В любой металлической пластине свободные электроны перемещаются беспорядочно. И если взять любое сечение внутри объема такой пластины и подсчитать число электронов, проходящих через это сечение в единицу времени, то окажется, что число электронов, перемещающихся через него слева направо, будет равно числу электронов, проходящих справа налево. А это значит, что электрического тока в этом объеме металла нет. Но если металлическую пластину подключить к полюсам источника напряжения, то теперь электроны будут участвовать не только в беспорядочном тепловом движении, но и начнут перемещаться к положительному полюсу источника. На место, освободившееся от ушедших электронов, придут под действием электрического поля от отрицательного полюса источника новые электроны. В металле установится электрический

ток — направленное, упорядоченное движение электронов. Если же начать нагревать пластину, то обнаружится, что электрический ток в пластине уменьшится. В этом свойстве заключается важный признак электропроводимости металла.

Иначе обстоит дело с полупроводниками. В них с повышением температуры электропроводимость увеличивается, а с уменьшением — уменьшается. При очень низких температурах, близких к абсолютному нулю, полупроводник практически превращается в изолятор.

Существенной особенностью полупроводников является, кроме того, значительное изменение их электропроводимости при введении в них примесей. Ничтожные доли процента примесей, введенных в полупроводник, могут в тысячи и более раз увеличить его электропроводимость. Кроме этого, электропроводимость полупроводников может существенно изменяться при радиоактивном облучении, а также с изменением освещенности.

Чем же объясняются такие свойства полупроводников? Рассмотрим несколько подробнее механизм электропроводимости в полупроводниках. Остановимся при этом на таких широко распространенных полупроводниках, как германий и кремний.

ЭЛЕКТРОНЫ И ДЫРКИ

Внешняя электронная оболочка атома германия (кремния) образована четырьмя электронами. Каждый атом германия (рис. 8) окружен четырьмя ближайшими одинаковыми атомами и связан с ними ковалентными связями посредством восьми электронов (четыре своих и по одному от каждого из четырех соседних атомов). Электроны в каждой межатомной связи и вокруг каждого атома движутся так, что приход одного электрона следует за уходом другого. При этом валентные электроны весьма активно могут хаотически перемещаться по кристаллу. При этих условиях в полупроводнике не может быть свободных носителей заряда и он является хорошим изолятором. Такая картина справедлива, если полупроводник имеет идеальную структуру и находится при температуре, близкой к абсолютному нулю.

При повышении же температуры некоторые электроны приобретают значительную кинетическую энергию, кото-

рая достаточна для нарушения ковалентной связи. Такие электроны покидают свои атомы и становятся свободными. Участвуя в тепловом движении, они беспорядочно перемещаются по нему, подобно молекуле в газе. Если в полупроводнике действует электрическое поле, то свободные электроны начинают двигаться направленно, создавая тем самым электрический ток. Проводимость полупроводников, обусловленная наличием у них свободных электронов, называют электронной проводимостью.

С повышением температуры число разорванных связей, а следовательно число свободных электронов, увеличивается, что приводит к увеличению электронной проводимости полупроводника.

При переходе электронов в свободное состояние создаются благоприятные условия для передвижения электронов, оставшихся в ковалентных связях. И действительно, при разрыве ковалентной связи и переходе электрона в свободное состояние образуется свободное место, которое принято называть дыркой. Возникновение такой дырки равноценно как бы появлению здесь положительного заряда. Дырки могут быть заняты соседними электронами. Но электроны, занявшие дырки, образуют в других местах новые дырки. Таким образом, создается впечатление, что дырки в

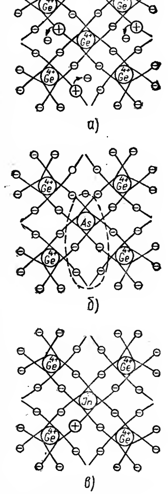


Рис. 8. Схема возникновения проводимостей в германии:
а — собственной; *б* — примесной электронной; *в* — примесной дырочной (⊖ — электроны; ⊕ — дырки).

кристалле перемещаются, причем в отсутствие электрического поля их перемещение хаотично.

Если же в полупроводнике создать электрическое поле, то возникает упорядоченное движение дырок в сторону, противоположную движению электронов (рис. 9). Следовательно, в полупроводнике наблюдается проводимость иного типа, так называемая дырочная проводимость.

Рассмотренная выше проводимость полупроводников — это проводимость в идеальных кристаллах, не содержащих каких-либо примесей. Проводимость эту называют собственной. Она очень мала.

Однако идеально чистых материалов в природе не существует. Среди атомов даже самого чистого полупроводника на практике содержатся, хотя и в незначительном количестве, некоторые примеси, т. е. атомы других элементов. А это сильнейшим образом увеличивает проводи-

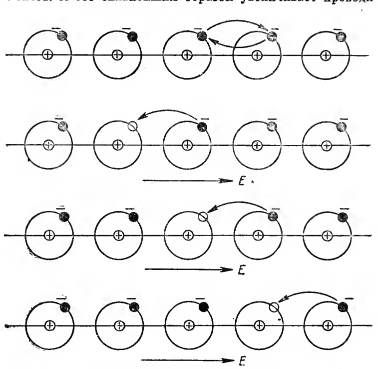


Рис. 9. Схема возникновения дырочной проводимости.

мость полупроводника (возникает дополнительная проводимость — примесная). Например, примесь одного атома индия на миллиард атомов германия увеличивает электропроводимость последнего в миллионы раз.

Если ввести в полупроводник атомы примеси, например добавить в германий элементы пятой группы (сурьму или мышьяк) (см. рис. 8, *б*), то тогда четыре электрона атома примеси образуют ковалентные связи с соседними атомами кристаллической решетки германия, а пятый электрон окажется не занятым в связях — он будет как бы лишним. Этот электрон связан со своим атомом гораздо слабее, чем остальные электроны. Поэтому в результате теплового движения такие избыточные электроны легко «освобождаются» от атомов и становятся свободными. Эти электроны и будут представлять собой основные, но не единственные носители электрического тока в полупроводнике. В этом случае полупроводник будет обладать электронной проводимостью или проводимостью *n*-типа (от английского слова negative — отрицательный).

Если же в качестве примеси использовать элементы третьей группы, например индий или галлий, у которых имеется три электрона на внешней оболочке (рис. 8, *в*), то эти атомы образуют ковалентные связи с тремя соседними атомами в структуре кристалла, а около четвертого атома образуется дырка. Дырки при наличии электрического поля перемещаются в полупроводнике, возникает дырочная проводимость. В полупроводниках с такой примесью дырочная проводимость преобладает над электронной, поэтому их называют дырочными или полупроводниками *p*-типа (от английского слова positive — положительный).

Если ввести в кристалл полупроводника разные примеси, то можно получить в нем области, обладающие различным видом проводимости. На границе таких областей образуется так называемый электронно-дырочный *p—n*-переход. На использовании свойств этого *p—n*-перехода и основано большинство современных полупроводниковых приборов.

При комнатной температуре электроны перемещаются через *p—n*-переход из *n*-полупроводника в *p*-полупроводник, где их концентрация меньше. Это приводит к созданию положительного потенциала в *n*-области и отрицательного потенциала в *p*-области. Если подключить теперь *p—n*-переход к источнику питания таким образом,

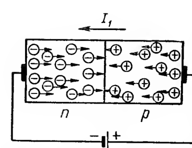


Рис. 10. Прохождение электрического тока через p—n-переход.

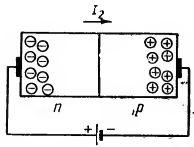


Рис. 11. Обратное напряжение, приложенное к p—n-переходу. Возникает потенциальный барьер, препятствующий протеканию тока.

чтобы «плюс» источника был подсоединен к дырочной области, а «минус» — к электронной (рис. 10), то электроны, которыми обильно насыщена электронная область, будут двигаться к положительному полюсу батареи, а дырки — к отрицательному. Два потока зарядов создадут через p—n-переход ток I_1.

Если поменять местами полюса источника питания (рис. 11), то картина резко изменится. Теперь электроны отталкиваются электрическим полем в сторону положительного полюса. В дырочной области электроны будут смещаться не к «минусу» источника, а в глубь полупроводника и заполнят все дырки у границы электронно-дырочного перехода. Потенциал на p—n-переходе окажется противоположным внешнему потенциалу и будет препятствовать прохождению тока, т. е. $I_2 \ll I_1$.

Таким образом, p—n-переход пропускает ток преимущественно в одном направлении, т. е. имеет одностороннюю проводимость.

Вернемся еще раз к запертому p—n-переходу. Около него нет теперь дырок в дырочной области, нет и свободных электронов в электронной области. Здесь образовался запирающий слой — «потенциальный барьер», в котором полупроводник превратился в диэлектрик. Но ведь это очень важно: электрическим воздействием можно менять свойства слоя вещества внутри кристалла.

И еще одно положительное свойство электронно-дырочного перехода: ширина запирающего слоя в «запер-

том» кристалле способна изменяться в зависимости от величины подводимого напряжения. Увеличивая или уменьшая напряжение, мы можем как бы раздвигать или сближать границы запирающего слоя, изменяя тем самым емкость $p—n$-перехода.

Тайна электропроводимости полупроводников была раскрыта, но изучение свойств полупроводников на этом не прекратилось. Так, было обнаружено, что в кристалле полупроводника можно образовать не только один, а два, три, несколько электронно-дырочных переходов. А это открывало большие возможности в создании полупроводниковых приборов. Но случилось это лишь в 50-е годы нашего столетия.

А пока возвратимся примерно на 50 лет назад. Думаем, читателю будет интересно узнать, как полупроводники постепенно вошли в нашу жизнь и стали нашими помощниками.

СЕНСАЦИОННОЕ ИЗОБРЕТЕНИЕ

Имя Олега Владимировича Лосева (1903—1942 гг.) известно, главным образом, специалистам в области полупроводниковой электроники, хотя он вполне заслуживает того, чтобы о нем знали самые широкие круги читателей. Это был талантливый ученый, изобретатель, положивший начало новому направлению в физике — полупроводниковой электронике.

Доставляет большое удовольствие писать о нем не только потому, что любовь О. В. Лосева к науке была поразительна, но еще и потому, что некоторые западные ученые не прочь приуменьшить заслуги нашего соотечественника.

В 1917 г. четырнадцатилетним юношей Лосев случайно попал на популярную лекцию В. М. Лещинского, бывшего в то время начальником Тверской радиоприемной станции. Здесь и состоялось первое знакомство с радиотехникой, которое решило дальнейшую судьбу О. В. Лосева. Он начал часто посещать радиостанцию, много работал дома в созданной им кустарной «лаборатории» и читал — читал много, систематически, упорно выбирая в первую очередь специальные книги по физике и радиотехнике.

В 1920 г. Лосев закончил реальное училище. В. К. Лебединский, с которым Лосев познакомился на Тверской

радиостанции, пригласил любознательного юношу в свою лабораторию в Нижний Новгород. На первых порах ему поручали выполнять простые операции по сборке отдельных узлов и приборов радиоаппаратуры, давали другие несложные задания. И как только у Лосева выкраивались свободные часы, он посвящал их исследованию механизма действия кристаллических детекторов. Новая и интересная работа полностью захватила его.

Прошло два года. Это было тяжелое время для молодой Республики Советов. Не хватало продовольствия, топлива. Стояли многие фабрики, заводы. И вот в это трудное время Лосев настойчиво работает: он пытается экспериментально проверить некоторые явления, обнаруженные им в исследуемых детекторах, зачастую сталкиваясь с отсутствием необходимого оборудования и аппаратуры. И здесь в полной мере проявились незаурядные качества Лосева: собранность, целеустремленность, умение выполнять работы своими руками. «У Олега Владимировича был исключительный талант: из предметов, которые были под руками, из отходов — кусков дерева, обрезков проволоки, жестянок и т. п. — создавать именно такие приборы, с помощью которых можно было наблюдать интересующие его физические явления», — писал позднее профессор Г. А. Остроумов.

Вначале О. В. Лосев изучал детекторы различного типа. В процессе исследований он обнаружил в детекторе из цинкита (минеральная окись цинка) со стальным острием способность возбуждать в радиотехнических контурах собственные незатухающие колебания. Об этих работах он написал статью, которая была опубликована в 1922 г. в журнале «Телеграфия и телефония без проводов». В ней он дал подробное описание опытов с детекторами и показал возможность их использования в детекторном приемнике.

Кроме того, Лосев установил, что некоторые детекторы можно использовать не только для детектирования, но и для усиления сигнала. Простой детектор мог действовать подобно электронной лампе. Это открытие легло в основу создания безлампового радиоприемника с усилением сигнала, который О. В. Лосев назвал «кристадином» (кристаллическим гетеродином).

Первый образец кристадина был изготовлен Лосевым в 1923 г. В это время в Москве начала работать Цент-

ральная радиотелефонная станция, передачи которой можно было принимать на простые детекторные приемники только вблизи столицы. Кристадин же позволял не только значительно увеличить дальность приема радиостанций, но был прост и дешев в изготовлении.

Интерес к кристадину был огромный. «Сенсационное изобретение» — под таким заголовком американский журнал «Радио ньюс» в сентябре 1924 г. напечатал редакционную статью, целиком посвященную работе О. В. Лосева. «Открытие Лосева делает эпоху», — писал журнал, выражая надежду на то, что хрупкую и довольно сложную вакуумную лампу вскоре заменит маленький кусочек цинкита или другого вещества — простого как в изготовлении, так и в обращении (термина «полупроводник» тогда не существовало). Поэтому не удивительно, что кристадин Лосева получил широкое распространение среди радиолюбителей нашей страны и за рубежом.

Продолжая исследование кристаллических детекторов, О. В. Лосев вскоре открыл новое явление — свечение карборунда при прохождении по нему электрического тока. Как бы предвидя современные полупроводниковые источники света, он в одной из своих работ писал: «Светящийся детектор может быть пригоден в качестве светового реле как безынертный точечный источник света». Спустя почти 20 лет это же явление было вновь открыто американским физиком Дестрио и получило название «электролюминесценция». В настоящее время это явление широко применяют в полупроводниковых лазерах, телевидении, светотехнике.

Так в результате вдохновенной и самоотверженной работы О. В. Лосева родилось новое направление, называемое ныне полупроводниковой электроникой. Особенно высоко ценил исследования Лосева академик А. Ф. Иоффе. По его инициативе в 1938 г. О. В. Лосеву за совокупность работ была присвоена степень кандидата физико-математических наук.

Шли годы. Началась вторая мировая война. Находясь в Ленинграде, О. В. Лосев продолжал исследовательскую работу, направляя все свои знания и умение на решение задач по обороне своей Родины. Вскоре О. В. Лосева не стало. Он умер тридцати девяти лет, не дожив до полного торжества своих открытий. А они завоевывали себе позиции с большим трудом. Нужен был толчок, какое-то яркое

событие, которое бы привлекло внимание физиков, показало бы во всей полноте значение работ О. В. Лосева.

ПЕРВЫЙ ПАТЕНТ НА ПОЛУПРОВОДНИК

Каждый предмет, прибор, устройство, которые нас окружают, часто имеет свою интересную историю. И, как правило, начинается она с открытия или изобретения, вначале далекого еще от совершенства. Но если это открытие помогает познавать природу, облегчает труд людей, то оно неизменно порождает большое число других изобретений и открытий. Ярким примером этому служит история транзистора.

В июле 1948 г. на одной из страниц газеты «Нью-Йорк таймс» было опубликовано скромное сообщение о том, что фирма «Белл телефон лабораторз» разработала прибор, способный заменить электровакуумную лампу. Как отмечалось в сообщении, это был точечноконтактный электронный прибор, в котором два металлических «усика» контактировали с крохотным брусочком из германия. Его создателем были американские ученые Д. Бардин и У. Браттэйн, работавшие под руководством У. Шокли. Новый прибор назвали «транзистором».

Сложными и разными путями шла наука к транзистору. Вслед за открытием О. В. Лосева в лабораториях многих стран мира начались кропотливые работы по исследованию свойств полупроводниковых материалов. Ученые по крупицам накапливали знания о полупроводниках, пробовали «оживить» пока еще трудно контролируемые в работе кристаллы.

Первая попытка создать трехэлектродный усилительный полупроводниковый прибор была предпринята профессором Лейпцигского университета Юлиусом Лилиенфилдом. В 1925 г. он получил патент на устройство для усиления электрических колебаний на основе полупроводниковой пленки сульфида меди. Это был первый патент на полупроводниковый усилитель. Объектом изобретения, писал Лилиенфилд, было «простое, надежное и дешевое реле, или усилитель, не требующий больших напряжений и применения нити накала или какого-либо аналогичного элемента».

При обосновании фирмой «Белл» заявки на изобретение транзистора вспомнили о патенте Лилиенфилда. Воз-

никла оживленная дискуссия. Было ясно, что Лилиенфилд создал усилитель почти на четверть века раньше появления транзистора. Но в то же время возникал вопрос: а может ли работать описанное Лилиенфилдом устройство? Сотрудники фирмы «Белл» создали это устройство, но попытка заставить его работать не имела успеха.

Важную роль в развитии теории полупроводников в начале 30-х годов сыграли работы, проводимые в нашей стране под руководством академика Абрама Федоровича Иоффе. В те годы нелегко было предвидеть возможности практического использования полупроводников. Наука о полупроводниках только делала первые и пока еще робкие шаги. Иоффе начал усиленно изучать эти вещества. В 1931 г. он опубликовал статью с пророческим названием «Полупроводники — новый материал электроники». И это было в то время, когда не существовало даже термина «физика полупроводников»!

Студенты, инженеры, школьники как зачарованные слушали лекции и рассказы Абрама Федоровича о чудесах и тайнах полупроводников, обладающих неожиданно интересными свойствами. Сам А. Ф. Иоффе очень любил науку и обладал завидными способностями популяризатора.

Работать приходилось в тяжелых условиях. Слишком много было скептиков, слишком несовершенны были исследуемые образцы полупроводников. «Грязь» исходных материалов — вот основной недостаток полупроводников. Так считали скептики. Но А. Ф. Иоффе думал иначе. «Вы правы, — говорил он, — материалы грязные, воспроизводимости нет. Вы считаете, что такая ничтожная чувствительность к изменениям состава образца — недостаток. А мне кажется, напротив, в этом — главное достоинство полупроводников».

Каким предвидением и верой в будущее полупроводников надо было обладать, чтобы за много лет до практического использования полупроводниковых материалов объяснить секреты их электропроводимости. Насколько это важно, оценили значительно позднее, когда научились очищать материалы. Вводя в полупроводники те или иные примеси, получали материалы с различными электрическими свойствами. Именно это свойство полупроводников привело в дальнейшем к созданию большого количества современных полупроводниковых приборов.

Немалая заслуга в исследованиях полупроводников принадлежит советским ученым Б. В. Курчатову и В. П. Жузе. В своей работе «К вопросу об электропроводности закиси меди», опубликованной в 1932 г., они показали, что величина и тип электропроводимости определяются концентрацией и природой примесей. Немного позднее советский физик Яков Ильич Френкель создал теорию возбуждения в полупроводниках парных зарядов, т. е. электронов и дырок.

В 1938 г. советский физик Б. И. Давыдов разработал диффузионную теорию выпрямления переменного электрического тока на границе двух полупроводников. Экспериментальное подтверждение этой теории сыграло важную роль в исследовании процессов, происходящих в электронно-дырочных переходах. Как мы увидим позже, используя идеи Б. И. Давыдова, американский физик У. Шокли заложил основы современной теории электронно-дырочных переходов.

Так обстояли дела к 1938 г., когда американцы У. Шокли и А. Холден предприняли попытку создать усилитель, используя угольные контакты, на которые оказывалось давление с помощью кварцевого кристалла. Но их постигла неудача. Работы продолжались. Были исследованы сотни разнообразных структур германия, кремния, но успеха достичь так и не удалось. Правда, в процессе этих исследований впервые были получены электронно-дырочные переходы, возник целый ряд идей и методов, с помощью которых ученые стремились объяснить наблюдаемые явления.

Хотя причины неудач еще не находили достаточного объяснения, но все понимали, что вот-вот должно появиться новое открытие. Нужно было сделать решающий шаг.

ТРАНЗИСТОР — ПОЖАЛУЙ, САМОЕ ГЛАВНОЕ

Изобретателей транзистора позднее часто спрашивали, что привело их к открытию. Так, один из журналистов задал У. Шокли вопрос: «Как вы это сделали?» Он ответил, что транзистор появился не в результате приложения известной теории к практике для достижения желаемой цели, но и не благодаря случаю. Напротив, транзистор был создан в результате сочетания усилий многих людей, потребностей общества и некоторых событий.

После долгой и кропотливой работы в период 1938—1948 гг. ученые твердо пришли к убеждению, что получить усиление электрических сигналов в полупроводниках можно, лишь идя двумя путями. Первый — по нему пошли немецкие физики Р. Хильш и Р. Поль — вытекал из сравнения обычного лампового диода и металло-полупроводникового выпрямляющего контакта. Основная сложность этого пути заключалась в размещении третьего электрода — сетки — в узком слое пространственного заряда. Созданный ими полупроводниковый прибор позволял усиливать только те сигналы, частота которых была меньше одного герца.

Второй путь, которого придерживался У. Шокли, состоял в воздействии электрическим полем на пленку полупроводника, что позволяло управлять его проводимостью.

Бардин и Браттэйн считали, что явления, наблюдаемые в обоих случаях, связаны между собой. А если попытаться найти объяснение хотя бы одному из них, то задача получения твердотельного усилителя может быть решена.

В конце 1947 г. Браттэйн и Бардин приступили к решающим опытам. Они поместили точечный металлический контакт на поверхность пластины германия с дырочной проводимостью, погруженной в электролит, и получили усиление электрических сигналов, но только на низких частотах. В то же время они заметили, что при определенных условиях на германии образуется окисная пленка. Исследователи предположили, что эту пленку можно использовать вместо электролита. Их предположение оправдалось. Вскоре Бардин разработал новую конструкцию усилителя, а затем было создано работающее устройство.

Созданный прибор привлекал своей простотой. С его помощью можно было усиливать сигналы в сотни раз. Эффект, который использовали в этом приборе, был положен в основу конструкции трехэлектродного усилительного полупроводникового прибора, получившего впоследствии название «транзистор».

Это изобретение по достоинству оценили. В 1956 г. У. Браттэйну, Д. Бардину и У. Шокли была присуждена Нобелевская премия.

Первые образцы германиевых точечных транзисторов в СССР были изготовлены в 1949 г. А. В. Красиловым и С. Г. Мадояном.

Ко времени изобретения транзистора существовал

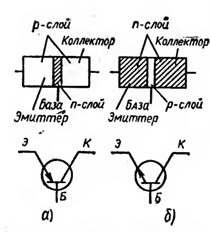


Рис. 12. Принцип устройства плоскостного транзистора:
а) *р—п—р*-типа; *б)* *п—р—п*-типа.

единственный полупроводниковый прибор — кристаллический диод. Он имел один электронно-дырочный переход, обладал малой чувствительностью и был очень нестабилен в работе. В отличие от диода транзистор имел два электронно-дырочных перехода. В чем же особенности приборов с электронно-дырочными переходами?

Перед нами полупроводниковый триод. В нем нет стеклянного баллона, как в лампе, нет вакуума. Основа транзистора — крошечный кристалл германия (или кремния), в котором имеется три слоя полупроводников (три области) и два электронно-дырочных перехода (рис. 12). При этом крайние слои имеют одинаковую электропроводимость, средний — противоположную. В зависимости от типа примеси, введенной в кристалл, крайние слои могут быть дырочные, а внутренний — электронный (транзистор *р—п—р*) или, наоборот, крайние слои — электронные, внутренний — дырочный (транзистор *п—р—п*). Средняя область называется базой, а крайние — эмиттером и коллектором. Эмиттер выполняет такую же роль, как катод в электронной лампе, коллектор аналогичен аноду, а база — сетке.

На рисунке 13 изображены три основные схемы включения транзисторов и эквивалентные им схемы включения электронных ламп. Каждая схема пригодна для транзисторов *р—п—р* и *п—р—п*-типа, и отличаются между собой эти схемы лишь различной полярностью включения источников питания.

В качестве примера рассмотрим схему с общей базой (рис. 13, *б*). По этой схеме усиливаемый сигнал подается на участок между эмиттером и базой, а выходной сигнал снимается между коллектором и базой.

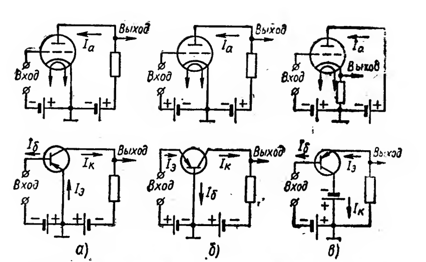


Рис. 13. Схемы включения электронной лампы и эквивалентные им схемы включения транзисторов:
а — с общим катодом и общим эмиттером; *б* — с общей сеткой и общей базой; *в* — с общим анодом и общим коллектором.

В цепи эмиттера (эмиттер — база) внешний источник постоянного тока включен в пропускном направлении (батарея «помогает» электронам и дыркам преодолевать запирающий слой). На участке «база — коллектор» батарея препятствует переходу зарядов через *p—n*-переход. В результате сопротивление на участке «эмиттер — база» совсем незначительное, а на участке «база — коллектор» весьма большое.

Ток, проходящий через оба *p—n*-перехода, остается почти неизменным. Точнее, он несколько уменьшится за счет того, что происходит рекомбинация: некоторые электроны воссоединяются с дырками, заполняя свободные места.

Обычно рекомбинации подвергается не более 3% зарядов, а это значит, что ток перехода «база — коллектор» составит около 97% от тока участка «эмиттер — база». В то же время сопротивление перехода «база — коллектор» в десятки раз больше, чем сопротивление перехода «эмиттер — коллектор».

Итак, ток почти одинаков, а сопротивление выхода в десятки раз больше сопротивления входа. Поэтому соглас-

по закону Ома напряжение сигнала на выходе будет превышать напряжение входного сигнала тоже в десятки раз. Этим и объясняется усиление в полупроводниковом триоде.

Эмиттер, база и коллектор — три электрода полупроводникового триода — транзистора. Они соответствуют катоду, сетке и аноду в электронной лампе. Мы видим, что действия транзистора схожи с действиями электронной лампы. Но разница между ними все-таки огромная. И дело даже не в том, что в радиолампе электроны движутся в вакууме, а в транзисторе — в твердом теле. У транзистора оказалось по сравнению с радиолампой много достоинств: отсутствие нити накала, малые размеры и масса, ничтожное потребление электрической энергии.

Вот что было написано в первой статье об изобретении транзистора, опубликованной 10 июля 1948 г. в американском еженедельнике «Новости научной литературы»: «У стеклянной лампы впервые за 40 лет появился соперник — небольшая деталь из полупроводникового материала германия, которая служит для усиления или генерирования тока... У нового прибора нет нити накала, которая должна нагреваться прежде, чем прибор начнет работать... Прибор начинает работать практически мгновенно».

Размеры первых образцов транзисторов поражали, и даже специалисты, скупые на образные выражения, сравнивая радиолампы и транзисторы, говорили о них как о «великанах» и «лилипутах».

Один из журналистов, описывая новое достижение, выразился так: «В электровакуумной промышленности недавно была обнаружена бомба замедленного действия величиной с горошину». А ведь совсем недавно, когда надо было показать все самое удивительное и замечательное, что создала современная наука и техника, обращались к электронной лампе.

ПРЕИМУЩЕСТВА СОПЕРНИКА

Богатейшие технические возможности транзистора были сразу же оценены специалистами. Транзистор надежен, прочен. Он не лопнет, не разобьется, как стеклянный баллон электронной лампы.

Но самое существенное заключается в том, что у транзистора нет нити накала. А как известно, эта маленькая деталь слишком «прожорлива». Чуть ли не половина

электрической энергии, расходуемой электронными лампами, идет на то, чтобы накалить их нить. Кроме того, нить — самый ненадежный элемент радиолампы, так как часто выходит из строя. Работают радиолампы, как известно, при значительных токах и напряжениях, и поэтому требуют мощных источников питания. И лишь незначительная часть их энергии расходуется на полезную работу ламп, а тепловые потери иногда достигают 70—80%. Транзисторы и здесь ушли далеко вперед: для нормальной их работы оказалось достаточным подводить к ним напряжение в несколько вольт при токе в тысячные доли ампера. Гораздо выше и КПД их: 50—60%.

Малое потребление энергии, а следовательно, и малое выделение тепла давало возможность использовать маломощные источники: миниатюрные аккумуляторы, солнечные и атомные батареи и др. Радиодетали — резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности — можно было расположить более компактно, значительно уменьшив их массу и габарит.

Несмотря на явные преимущества транзисторов, позиции электронных ламп в радиоэлектронике еще долгое время оставались прочными. И более того, с появлением транзистора резко усилились работы по совершенствованию радиоламп. Именно в этот период появились пальчиковые, сверхминиатюрные лампы с повышенной надежностью, более экономичные. В сочетании с миниатюрными радиодеталями они некоторое время достаточно успешно конкурировали с первыми образцами транзисторов.

И все же радиолампы постепенно утрачивали свои позиции. Особенно отчетливо их недостатки проявились при создании крупных радиотехнических систем и комплексов, больших электронно-вычислительных машин, а в дальнейшем и при решении задач по освоению космического пространства, где на «повестку дня» остро встал вопрос экономичности и надежности. Электронные устройства для этой техники насчитывали сотни и тысячи радиоламп, десятки и сотни радиодеталей, потребляли колоссальную мощность, занимали огромные площади. Так, первая вычислительная машина ЭНИАК, появившаяся в конце 1945 г., насчитывала 18 тысяч электронных ламп, 1,5 тысячи электромеханических реле, занимала площадь 150 м^2, масса ее составляла около 30 т. Потребляемая мощность достигала почти 200 кВт.

Наука и техника выдвигала очень сложные задачи, решить которые с помощью электронных ламп было уже трудно. Выход был один: радиолампы должны уступить место транзисторам.

Первым наиболее серьезным испытанием, где транзисторы полностью оправдали возложенные на них надежды, были электронно-вычислительные машины (ЭВМ). У новых машин значительно повысилась надежность, уменьшилось потребление энергии, не говоря уже о габаритах. Стали даже поговаривать о настольных ЭВМ. А быстродействие ЭВМ! Не десятки операций в секунду, а тысячи и миллионы. Об этом раньше лишь мечтали физики и математики, биологи и медики.

Позднее транзисторы стали широко применять и в бытовой радиоаппаратуре. Карманные радиоприемники, портативные магнитофоны и телевизоры прочно вошли в нашу повседневную жизнь. Новая аппаратура была компактной, легкой, экономичной, надежной.

Понадобилось всего лишь немногим более 10 лет для того, чтобы транзисторы не только прочно вошли в арсенал современных технических средств, но и завоевали передовые рубежи. Полупроводниковые диоды и транзисторы стали основными элементами радиоэлектронной техники. Трудно даже перечислить те области, где транзисторы, заменив электронные лампы, создали новые направления в электронике.

НЕМНОГО О ТЕХНОЛОГИИ

Изобретение транзистора и многочисленные возможности его практического использования вызвали быстрое развитие различной технологии производства полупроводниковых приборов и предприятий по их выпуску. Основной особенностью, отличающей это производство, например, от машиностроения или приборостроения, является то, что транзистор представляет собой практически одну, причем очень сложную, деталь. Эта деталь — крохотный кристалл полупроводника — проходит химическую, механическую и другие виды обработок (всего более 50 операций) и только лишь после этого приобретает свойства прибора. Брак на любой из этих операций неисправим и приводит к браку самого полупроводникового прибора.

Вторая особенность полупроводникового производства вытекает из микроскопических размеров отдельных элементов полупроводникового прибора.

Третья особенность состоит в обеспечении сложнейшей техникой получения материалов повышенной чистоты, в строгом дозировании примесных атомов и введении их во вполне определенные места кристаллической решетки полупроводника. Чистый с точки зрения полупроводникового производства германий должен содержать в каждом кубическом сантиметре не более 10^{12} атомов посторонних примесей или один атом примеси на 10^{10} атомов исходного вещества. Отсюда возникают почти фантастические требования к гигиене в помещениях, где происходит технологические процессы. Специалисты считают, что запыленность воздуха в основных помещениях при производстве полупроводников не должна превышать 3000 пылинок на 1 м^3, а на рабочем месте возле обрабатываемой пластины — не более 30 пылинок. Для сравнения укажем, что в 1 м^3 обычного городского воздуха содержится около 50 миллионов пылинок.

Перечисленные выше особенности показывают, насколько сложно полупроводниковое производство. Недаром его оборудование относится к категории самых высокоточных установок, а в ряде случаев просто не имеет аналогов ни в какой другой отрасли промышленности.

В 1959 г. была предложена так называемая планарная[1] технология изготовления полупроводниковых приборов, которая дала возможность перейти от изготовления отдельных приборов на «индивидуальных» кристаллах к изготовлению на одном кристалле большого количества приборов. В результате на одной пластинке полупроводника одновременно стало возможным изготавливать несколько тысяч транзисторов.

Можно сказать, что благодаря этой технологии в производстве полупроводниковых приборов произошла техническая революция.

Процесс изготовления транзисторов по планарной технологии включает в себя следующие основные операции: шлифовка и полировка исходной кремниевой пластины; защита поверхности пластины пленкой двуокиси кремния

---

[1] Термин «планарный» образован от английского слова planar — плоский.

или другого диэлектрика; образование «окон» заданной конфигурации в полупроводниковой, диэлектрической и металлической пленках; введение атомов примесей в глубь полупроводника через окна с помощью диффузии.

Дальнейшие операции зависят от типа, конструкции и назначения прибора и включают в себя пайку кристалла, укрепление выводов, защиту лаками, смолами, герметизацию в корпусе и т. д.

Кратко остановимся на методе диффузии, самом распространенном в настоящее время методе.

Для введения в полупроводник атомов примесей кремниевую пластину нагревают до температуры около 1000°С, а затем ее помещают в пары нужной примеси. Атомы примеси через специальные окна бомбардируют кремниевую пластину и проникают в глубь полупроводника. При этом скорость проникновения (диффузия) зависит как от свойств диффундирующих атомов, так и от условий технологического процесса. Так, изменяя температуру и время процесса, можно регулировать глубину проникновения атомов примеси в полупроводник, тем самым меняя свойства микрообластей кремниевой пластины.

Несмотря на широкое применение метода диффузии, у него есть один существенный недостаток: он не позволяет получать относительно тонкие слои.

В последние годы широкое применение при изготовлении полупроводниковых схем получили методы электронного и ионного внедрения примесей. Регулируя скорость потока электронов и ионов и фокусируя его с помощью электрических и магнитных полей в остронаправленный луч, можно производить бомбардировку полупроводниковой пластины на заданную глубину и в нужную область. Таким образом, методы электронного и ионного внедрения примесей позволяют электрически управлять всем технологическим процессом, что повышает воспроизводимость параметров и надежность полупроводниковых схем.

Появление планарной технологии позволило за короткий срок создать огромное количество полупроводниковых приборов, в которых используются различные физические явления. Одни из них по принципу действия были похожи на транзисторы, другие имели принципиально новое устройство. Но почти все созданные приборы объединяло одно — наличие электронно-дырочного перехода. Подавляю-

щее число полупроводниковых приборов имело один, два или более переходов. Поэтому можно без преувеличения сказать, что электронно-дырочный переход — «сердце» полупроводникового прибора.

УПРАВЛЯЕМЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ВЕНТИЛИ

Применение электроники в электротехнических устройствах началось в 20-е и 30-е годы нашего столетия в связи с появлением таких приборов, как ртутный вентиль, газоразрядные и электровакуумные приборы, селеновый вентиль. В эти же годы были в основном разработаны и наиболее важные схемы преобразователей, выпрямителей, инверторов, в которых использовались упомянутые приборы.

Развитие современной полупроводниковой электроники позволило создать эффективные и быстродействующие переключатели для управления большими токами. Поскольку характеристики созданных приборов напоминали характеристики газоразрядных ламп-тиратронов, им было дано название тиристоры.

В СССР первые образцы тиристоров были разработаны в 1959—1960 гг. За прошедшее с тех пор время эти приборы нашли очень широкое применение в различных отраслях электроники и электротехники. Объясняется это весьма ценными качествами тиристоров: большой коэффициент усиления, малая инерционность, широкий диапазон рабочих температур, малые габариты и масса (на единицу мощности), практически мгновенная готовность к работе, весьма высокие допустимые напряжение и ток, высокий КПД, большой срок службы и др.

Эти достоинства предопределили применение тиристоров, и сейчас они служат основными элементами силовых преобразователей тока: выпрямителей, генераторов мощных импульсов, инверторов, применяемых в самых различных отраслях промышленности и транспорта.

Главная часть тиристора — кремниевая пластинка с нанесенными на ней четырьмя чередующимися слоями электронной и дырочной проводимостей. Таким образом, в отличие от транзистора у тиристора не два, а три электронно-дырочных перехода.

Структуру тиристора удобно представить в виде комбинации двух транзисторов, включенных таким образом, что

базовый электрод одного связан с коллекторным электродом другого, и наоборот.

При включенном тиристоре можно снять управляющее напряжение, не нарушив работу прибора. Если провести аналогию с транзистором, то там при снятии сигнала с базы приток носителей тока прекращается. В тиристоре же ток базы одного транзистора является током коллектора другого, и наоборот. Поэтому независимо от наличия управляющего сигнала при открытом тиристоре всегда имеется источник носителей в базах, который и поддерживает в приборе состояние насыщения. В этом заключается различие транзистора и тиристора.

Выключить прибор можно, лишь снизив ток через него до некоторого определенного значения или разорвав анодную цепь.

Наряду с перечисленными выше применениями тиристоров, их все шире используют в импульсных устройствах: релаксационные генераторы, триггеры, мультивибраторы, логические схемы, счетчики и формирователи импульсов и т. д.

Можно привести еще десятки областей применения управляемых вентилей. Их используют и в регуляторах напряжения, и в преобразователях частоты, и при управлении электродвигателями, т. е. везде, где требуются экономичные, эффективные и быстродействующие переключатели.

Мы рассмотрели лишь некоторые, но далеко не все возможные способы использования свойств *p—n*-переходов для создания полупроводниковых приборов различных типов. Некоторые вопросы применения других полупроводниковых приборов будут рассмотрены в последующих главах книги.

НА ПУТИ К АЛМАЗНОЙ ЭЛЕКТРОНИКЕ

История алмаза своими корнями уходит в далекое прошлое. Старинные легенды, древние письмена, археологические раскопки рассказывают о том, как сверкающие всеми цветами радуги камни становились украшением корон властелинов, как из-за алмазов проливалась кровь и гибли рабы в кимберлитовых копях Африки и Бразилии, как в результате «алмазной горячки» совершались ограбления национальных сокровищниц целых народов. Но не только

красота и высокая стоимость привлекала людей к алмазу. Исключительная твердость — вот что поражает всех, кто впервые сталкивается с этим камнем. Недаром слово «алмаз» в переводе с греческого означает «несокрушимый», «неодолимый», «непобедимый»...

Несколько десятилетий назад алмаз был одним из самых дефицитных материалов в технике. Его чаще можно было увидеть в музее или в ювелирном магазине. Сегодня же удивительные свойства алмаза человек использует так разнообразно, что перечислить их просто затруднительно. Алмаз нужен всюду, где надо обрабатывать сверхпрочные стали и сплавы, твердый камень, бурить скважины и т. д. Использование алмазов во много раз повышает качество и надежность инструмента и машин, увеличивает производительность труда, снижает стоимость производства.

Широкое использование алмазов в технике стало возможно благодаря открытию искусственного синтеза драгоценного минерала, сделанного большим коллективом советских ученых и инженеров под руководством академика Л. Ф. Верещагина и доктора технических наук В. Н. Бакуля.

До сравнительно недавнего времени алмаз считался идеальным электрическим изолятором. Но вот, лет 20 назад, в Африке впервые нашли необычные алмазы: благодаря наличию в их кристаллах ничтожных количеств примесей они имели свойства полупроводников.

А нельзя ли попытаться искусственно получить полупроводниковый алмаз, повторив в лаборатории то, что сделала природа? Оказалось, можно. Правда, для этого уже нельзя использовать методы диффузии, которые применяют при получении обычных полупроводников. Чтобы проникнуть в глубь алмаза и ввести в него необходимые примеси, пришлось прибегнуть к другим методам. Впервые алмазы с полупроводниковыми свойствами были получены под руководством академика Л. Ф. Верещагина.

Что нового принесут алмазные полупроводники? Прежде чем ответить на этот вопрос, рассмотрим наиболее характерные свойства алмаза. Помимо самой высокой среди всех веществ твердости, алмаз отличается химической и термической (в вакууме при температуре до 1500°С) стабильностью, большой электрической прочностью (пробой возникает в полях, превышающих миллион вольт на сантиметр). Он не растворим ни в одной жидкости, не горит,

И только при температуре свыше 800°С его можно сжечь в сплаве с селитрой. Наконец алмаз хорошо преломляет солнечный свет: именно этим объясняется игра бриллиантов всеми цветами радуги.

Как ни хороши современные полупроводники, но у них есть существенный недостаток: они не выносят значительного нагревания. Например, германиевые транзисторы теряют работоспособность при температурах, близких к 100°С, а кремниевые — к 200°С. Между тем потребность в простых и безотказных полупроводниковых приборах, способных переносить высокие температуры, очень велика: они нужны металлургам, физикам, химикам, энергетикам.

В физическом институте АН СССР после многочисленных исследований ученые В. С. Вавилов и Е. Н. Кокорева на основе синтетического алмаза создали первые образцы алмазных термисторов, обладающих высокой чувствительностью, способных работать в агрессивных средах и, как все полупроводниковые приборы, отличающихся незначительными размерами и массой.

Алмазные полупроводниковые приборы окажут большую помощь в тех отраслях науки и техники, в частности в ядерной физике, где нужны приборы, с помощью которых можно было бы рассмотреть и «пощупать» то, что скрыто от нас. Дело в том, что алмаз не боится сильных электрических полей. Именно это свойство и сделало его незаменимым материалом для создания детекторов ядерных излучений.

Создатели алмазных полупроводников говорят о перспективах их применения в различных преобразователях и выпрямителях электрического тока.

Не далек тот день, когда будут созданы алмазные транзисторы. Уже сделаны первые шаги в этом направлении. В лабораторных условиях в алмазе удалось получить электронно-дырочный переход. И если в одном кристалле удастся создать два перехода, то наступит время алмазных транзисторов! С их внедрением можно будет решить такие проблемы, как значительное повышение термостойкости, механической прочности, а следовательно, создать исключительно надежные электронные устройства.

Представляют большой интерес оптические свойства алмазных кристаллов. Всестороннее изучение этих свойств может привести к созданию новых вычислительных машин.

Глава 6

МИКРОЭЛЕКТРОНИКА

ПУТИ МИНИАТЮРИЗАЦИИ АППАРАТУРЫ

До изобретения транзистора основными усилительными элементами в электронике были электровакуумные лампы. Их недостатки хорошо известны. Но особенно отчетливо они проявились при создании крупных радиотехнических систем и комплексов, электронно-вычислительных машин, а в дальнейшем при решении задач по освоению космического пространства. Электронные устройства для этой техники насчитывали сотни и тысячи радиоламп, десятки и сотни тысяч радиодеталей, потребляли колоссальную мощность, занимали огромные площади.

В этот период узлы и блоки электронной аппаратуры собирали, главным образом, вручную. На металлических шасси крепили детали электронных схем — резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности и т. д. Все эти детали соединяли между собой проводами, а концы проводов припаивали к выводам деталей с помощью паяльника. Ни один автомат не мог справиться с так называемым навесным монтажом, не мог расставить на свои места электронные лампы и радиодетали.

Но главное было не в этом. «На повестку дня» остро встал вопрос надежности аппаратуры. Надежность — свойство какого-либо прибора выполнять заданные функции, сохранять свои эксплуатационные показатели в заданных пределах в течение требуемого промежутка времени. Полное или частичное нарушение работоспособности называется отказом.

Вспомним первую вычислительную машину ЭНИАК, состоявшую из 18 тыс. электронных ламп, 1,5 тыс. элект-

ронно-механических реле. Один из создателей ЭНИАК — американский математик Г. Эванс вспоминает: «ЭНИАК, на котором мы работали, оказался довольно капризной машиной. Постоянно какие-нибудь лампы или контуры выходили из строя, и нам приходилось простаивать».

Действительно, срок службы электронных ламп того времени составлял 500—1000 ч. За это время выходило из строя не менее 2% работающих ламп. Нетрудно подсчитать, что за 1000 ч при наличии 18 000 ламп могло выйти из строя около 360 ламп. Если считать отказы распределенными по времени промежутками равномерно, то окажется, что среднее время безотказной работы составляло около 3 ч. Это означает, что каждые 3 ч надо было искать вышедшую из строя лампу (среди 18000!).

Таким образом, чтобы обеспечить высокую надежность, нужны такие приборы, которые могут долгое время работать безотказно.

Появление транзистора, обладающего высокой надежностью и долговечностью, явилось основой перехода к миниатюрным электронным схемам.

Наиболее простой путь уменьшения размеров заданного электронного устройства состоит в использовании элементов меньших размеров, что наглядно можно видеть, сравнив настольный и карманный радиоприемники. Но не только транзисторы, заменившие лампы, имеют меньшие размеры. Уменьшились размеры отдельных деталей и узлов аппаратуры — конденсаторов, резисторов, трансформаторов, громкоговорителей и др. В результате повысилась плотность монтажа и уменьшился объем, занимаемый электронной схемой.

Однако электронная схема — это не просто набор отдельных элементов и узлов. Не менее важна проблема выполнения соединений отдельных элементов между собой. Старый способ соединения элементов бесчисленными проводами изжил себя: детали и узлы стали настолько крохотными, что их трудно удержать в руках.

На помощь инженерам и конструкторам пришла современная технология — в производство стали внедрять печатные схемы: соединения между элементами начали выполнять не проводом, а при помощи проводников на изолирующей подложке.

На изоляционную пластину (плату) наносят металлизированное покрытие в виде полос, соответствующих не-

обходимым соединениям. Крепление элементов, осуществляется с помощью отверстий, просверленных в плате. Выводы деталей вставляют в отверстия, а затем припаивают к металлизированным областям на плате (рис. 14).

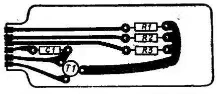


Рис. 14. Соединение элементов на печатной плате.

Следующий шаг на пути уменьшения габаритов электронного оборудования — модульное конструирование аппаратуры. Модульный метод означает, что основой конструкции устройства служит некоторая стандартная по размерам, способу сборки и монтажа элементарная конструктивная ячейка (модуль), выполняющая функцию отдельного узла аппаратуры — усилителя, генератора и т. п.

Дальнейшая миниатюризация деталей привела к созданию микромодулей — миниатюрных функциональных узлов, предназначенных для конструирования малогабаритной радиоэлектронной аппаратуры. Они представляют собой герметичные узлы стандартной формы и размеров, которые не подлежат ремонту и в случае неисправности заменяются целиком.

Микромодуль (рис. 15) собирают из прямоугольных керамических пластинок, на которых установлены полупроводниковые приборы и пассивные элементы (резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности). После монтажа компонентов керамические платы собирают в столбики, напоминающие этажерки, и выполняют необхо-

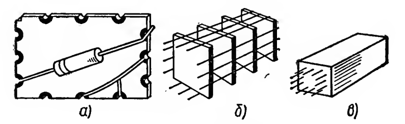


Рис. 15. Микромодуль:
а — микромодульная плата; б — соединение плат; в — внешний вид микромодуля.

димые соединения. Вслед за пайкой соединений микромодуль герметизируют с помощью специального состава, и он становится готовым элементом, в котором жестко закреплены все детали конструкции.

Процесс совершенствования технологии полупроводникового производства позволил реализовать идею создания пассивных элементов методом нанесения пленок металлов или их окислов на изоляционную плату. Так, например, конденсатор получают последовательным напылением слоев «металл — диэлектрик»; металлическая полоска в виде спирали образует «катушку» индуктивности. Теперь детали, как и соединения между ними, превратились как бы в одно целое, что придало им плотность и жесткость.

И все же микромодульная техника не получила большого развития, хотя и сыграла значительную роль в микроминиатюризации аппаратуры. Основной недостаток микромодулей — большое число соединений. И как следствие этого — недостаточная общая надежность аппаратуры.

Дальнейшее увеличение надежности и плотности монтажа стало возможным только в начале 60-х годов в результате новейших достижений физики твердого тела, технологии производства и обработки полупроводниковых приборов.

Успехи в развитии полупроводниковой электроники легли в основу нового научно-технического направления в технике — микроэлектроники (интегральной электроники), на базе которой с помощью физических, химических, технологических и других методов и приемов решается проблема создания высоконадежных и экономичных микроминиатюрных электронных схем и устройств.

ИНТЕГРАЛЬНЫЕ СХЕМЫ

В микроэлектронике на смену схемам на дискретных компонентах пришли интегральные схемы. Слово «интегральная» подчеркивает суммирование функций и элементов электронных схем. Здесь элементы и соединительные проводники изготавливаются в едином технологическом цикле на поверхности (или в объеме) исходного материала и имеют общую герметизацию и защиту от механических и климатических воздействий.

В настоящее время широкое распространение получили гибридные интегральные схемы. Они представляют собой сочетание пленочных пассивных элементов и навесных активных элементов.

Резисторы, конденсаторы, контактные площадки и внутрисхемные соединения изготавливают с помощью методов тонкопленочной технологии.

Навесные активные элементы (транзисторы и диоды) по способу герметизации делятся на корпусные и бескорпусные. Их укрепляют либо на плате с пленочными пассивными элементами, либо на основании корпуса гибридной микросхемы. Для защиты от внешних воздействий микросхемы заливают специальным изоляционным материалом.

Полупроводниковая интегральная схема состоит из активных и пассивных элементов, изготовленных в одном монокристалле полупроводника.

Большинство полупроводниковых интегральных схем получают, используя пластинку кремния с дырочной проводимостью, выращивая на ее поверхности слой материала с электронной проводимостью. Необходимые элементы таких схем и соединения между ними изготавливают в едином технологическом процессе путем введения соответствующих примесей. Так, для формирования транзисторов используют три слоя, для диодов—два слоя или соответствующим образом включенный транзистор. Если нанести поверх защитного слоя пленку из материала, проводящего электрический ток, получают резистор с нужным сопротивлением. Подобным же образом можно выполнить и конденсатор.

Но можно обойтись и без пленок. Тогда роль конденсатора будет выполнять емкость электронно-дырочного перехода, а резистора — один из слоев кремниевой пластинки.

Получается, что все элементы схемы, например радиоприемника, за исключением громкоговорителя и антенны, можно разместить в одном кристалле полупроводника.

Уже первые интегральные схемы показали высокую надежность их в эксплуатации. Кроме того, применение интегральных схем увеличивает быстродействие работы электронно-вычислительных машин. При этом резко уменьшаются их габариты и масса.

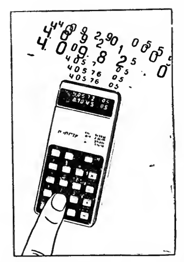


Рис. 16. ЭВМ на интегральных схемах.

Сравнительно недавно в микроэлектронике появилось новое направление — большие интегральные схемы (БИС). В таких схемах достигнут весьма высокий уровень интеграции. Достаточно сказать, что уже в настоящее время плотность монтажа БИС доведена до 10 тысяч элементов на 1 см^3 объема.

Согласитесь, что нелегко представить себе, как на пластинке, не превышающей диаметра обычных ручных часов, можно сформировать одновременно 65 твердых схем, а это значит «разместить» 975 резисторов, 445 диодов. Обратите внимание на вычислительное устройство, легко умещающееся на ладони (рис. 16). Оно состоит из 587 твердых схем, заменяющих около 10 тысяч обычных деталей.

Таким образом, интегральная электроника позволила совершить резкий скачок от аппаратуры на микромодулях с плотностью монтажа в десятки деталей на 1 см^3 к аппаратуре с плотностью монтажа в тысячи и десятки тысяч деталей на 1 см^3.

Но и это не предел. В будущем БИС могут перерасти в ГИС (гигантская интегральная система). Размеры деталей и промежутков между ними будут столь малыми, что в кристалле объемом в 1 см^3 можно образовать десятки миллионов деталей.

Наступает эпоха микроэлектроники. Сейчас многие сомнения позади, и микроскопические области кристалла получают все большее развитие, превращаясь в блоки, устройства, машины. Вместе с этим рождается функциональная микроэлектроника, характерная черта которой — использование физических свойств вещества для получения заданной функции.

Глава 7

ЭЛЕКТРОНИКА И ЗВУК

Звуки... Мы сталкиваемся с ними постоянно. Они могут радовать нас или раздражать, успокаивать или пугать, веселить или угнетать.

Наши далекие предки считали звук таинственным порождением сверхъестественной силы. Они верили, что с помощью звуков можно сдвигать с места скалы, преграждать путь воде, вызывать дождь, разговаривать с животными, творить другие чудеса. Поэтому не удивительно, что уже в древности многие религии, зная, какое воздействие на человека оказывает звук, использовали песнопения и музыку в своих целях.

С древнейших времен звук использовался людьми для передачи на дальние расстояния важных сообщений.

Познавая различные звуковые эффекты, люди старались использовать их в своих целях. Так, уже в театрах Древней Греции и Рима были созданы первые звуковые приборы. Это были маленькие рупоры, которые актеры вставляли в маски для усиления звука. А в больших залах, театрах устанавливали вазы, сделанные из алебастра, благодаря которым намного улучшалась акустика помещения.

В более поздние времена, при возведении церквей и храмов строители для улучшения их акустических свойств часто замуровывали в стенах глиняные кувшины.

Что же такое звук? Звук — это волнообразно распространяющееся колебательное движение частиц в газах, жидкостях и твердых телах, которое воспринимается органами слуха.

Человеческое ухо воспринимает звук в области частот от 16—20 Гц до 18—20 кГц. Колебания с частотами, лежащими вне этих границ, не вызывают у человека слуховых ощущений, — это неслышимые звуки. Колебания с частотами выше 20 000 Гц называют ультразвуком. Все достижения ультразвуковой техники стали возможны благодаря развитию радиоэлектроники. В первую очередь это относится к способам получения колебаний ультразвуковой частоты в воздухе, жидкости или твердых телах.

НЕСЛЫШИМЫЕ ЗВУКИ

Звуки, которые мы не слышим. Звуки, не нарушающие тишину. Неслышимые звуки... Непривычное, не правда ли, сочетание слов? Это звучит примерно так же, когда мы говорим «горячий снег» или «холодный кипяток». И все же это звук, подчиняющийся законам акустики. Но человеческое ухо его не воспринимает. Между тем такие звуки существуют и используются в природе.

Людей всегда удивляло необыкновенное чутье животных, птиц, рыб, насекомых, их способности видеть невидимое, слышать неслышимое, ориентироваться в окружающей обстановке. После долгих и упорных исследований ученые установили, что во многих случаях им помогает ультразвук. Особенно много интересного в области изучения ультразвука в живом мире получено в последние десятилетия.

Наиболее развито ультразвуковое «зрение» у летучих мышей и дельфинов. С помощью совершенных электронных приборов ученым удалось зафиксировать звуки, которые издает летучая мышь. Оказалось, что она излучает направленные ультразвуковые сигналы до 140 000 Гц и как бы «ощупывает» ими предмет. Имея плохое зрение, летучая мышь совершенно свободно ориентируется в полной темноте, не натыкаясь на препятствия, обнаруживает и ловит насекомых. Поразительный факт: летучая мышь может «видеть» нейлоновую сеть из тонких, едва заметных нитей толщиной всего 0,08 мм. Такие «живые» локаторы человек пока сделать не может. Но не надо забывать, что природа трудилась над их созданием и совершенствованием миллионы лет.

Дельфины видят в воде на расстоянии не более 30 м. Зато слух у них развит очень хорошо и является одним из элементов сложной системы — эхолокации. Дельфины обладают недостижимой для современных приборов эффективностью эхолокации. Природный гидролокатор дельфина позволяет ему безошибочно находить дробинку, брошенную в воду, на растоянии до 20 м. Если дельфину на некоторое время закрыть глаза и поместить его в специально построенный в воде лабиринт, то он находит из него выход, ни разу не коснувшись препятствий. Дельфин никогда не наткнется на стеклянную перегородку на его пути, легко отыскивает «щели» в сетях. Дельфины легко определяют размеры предметов и расстояния до них, при необходимости изменяя мощность излучения в миллиард раз, а частоту повторения ультразвуковых импульсов — в тысячу раз. О таком гидролокаторе мы можем только мечтать.

Раскрывая секреты природы, ученые и специалисты все больше убеждаются в том, что у великого изобретателя — природы — можно не только поучиться, но и использовать на практике многие «живые патенты», подобные тем, которые обнаружены у летучих мышей и дельфинов. Но понадобились долгие годы, прежде чем неслышимые ультразвуковые колебания превратились в помощников человека, стали незаменимыми тружениками во многих отраслях науки и техники.

В развитии теории упругих колебаний и акустических измерений ведущая роль принадлежит русским и советским ученым. Еще в XVIII в. в Петербурге академик Л. Эйлер опубликовал работы «Физическая диссертация о звуке», «Физические замечания о распространении звука и света». В 1804 г. академик Я. Д. Захаров впервые в мире измерил расстояние с помощью звука.

Большой вклад в развитие теории и практики акустики внесли такие русские ученые, как А. Г. Столетов, Н. А. Умнов, П. Н. Лебедев, В. Д. Зернов, а также зарубежные ученые Ланжевен, Релей, Лэмб. Советскими учеными и инженерами С. Г. Ржевкиным, Н. Н. Андреевым, Л. М. Бреховских, Л. Я. Гутиным, А. А. Харкевичем и другими были разработаны основы теоретической и прикладной гидроакустики, позволившие выйти этой отрасли науки на передовые рубежи.

В настоящее время созданы самые различные типы

ультразвуковых установок и контрольно-измерительных приборов. Широкое внедрение ультразвуковой техники позволяет автоматизировать и ускорять разнообразные технологические процессы, увеличивать производительность труда, улучшать качество продукции. Многие технологические процессы, например долбление в хрупких материалах отверстий различной конфигурации, пайку, лужение и сварку некоторых материалов, дегазацию расплавленных металлов и др., невозможно было бы осуществить без применения ультразвука. Под воздействием ультразвуковых колебаний можно получить эмульсии из несмешивающихся жидкостей, таких, как вода и ртуть, вода и масло и др. Ультразвуковую аппаратуру широко применяют для очистки деталей от жировых, механических и лакокрасочных покрытий, в процессах холодной сварки пластмасс и металлов. Ультразвук находит широкое применение в медицине для лечения и диагностики различных заболеваний.

Акустические локационные приборы используют в самых различных целях: для счета объектов и количества материала на конвейере, определения глубины вспашки почвы, учета движущегося транспорта, для контроля уровня загрузки бункеров и обжиговых печей, измерения газовых смесей, охраны помещений и еще во многих други областях. Если продолжить перечисление тех задач, которые успешно решают с помощью ультразвука, то это займет не одну страницу. Мы кратко расскажем только о нескольких, наиболее интересных, областях использования ультразвука.

Ультразвуковая техника всецело основана на электронике. Основной элемент излучателя ультразвука — генератор электрических колебаний.

Преобразование электрических колебаний в ультразвуковые осуществляют с помощью пьезоэлектрических, магнитострикционных и электростатических преобразователей.

В основе пьезоэлектрических преобразователей лежит пьезоэлектрический эффект. Прямой пьезоэлектрический эффект был открыт в 1880 г. французскими учеными — братьями Жаком и Пьером Кюри. Сущность его заключается в том, что если деформировать (сжимать или растягивать), например, пластинку кварца, то на ее гранях появятся противоположные по знаку электрические заряды.

Пьезоэлектричество[1] — это электричество, возникающее от механического воздействия (сжатия, растяжения) на материал.

Обратный пьезоэлектрический эффект состоит в том, что если к двум противоположным граням пластинки приложить переменное электрическое напряжение, то пластинка начнет сжиматься и растягиваться, совершая вынужденные колебания. При этом наибольшая амплитуда колебаний пластинки наблюдается при совпадении частоты электрических колебаний с собственной частотой механических колебаний кристалла. В результате наступает резонанс и пластинка совершает интенсивные механические колебания, служащие источником ультразвуковых волн.

Пьезоэлектрические преобразователи нашли широкое применение как в приемниках — в микрофонах, звукоснимателях, шумопеленгаторах, так и в излучателях — в пьезоэлектрических громкоговорителях и другой ультразвуковой технике.

В 1847 г. Джоуль открыл интересное явление. Поместив стержень из ферромагнитного материала (это может быть, например, никель, кобальт, железо) в магнитное поле, он обратил внимание, что геометрические размеры стержня изменились. Это явление получило название магнитострикционного эффекта или магнитострикции[2].

На основе магнитострикции изготовляют различные по устройству и назначению магнитострикционные преобразователи. Они преобразуют электромагнитную энергию в механическую и обратно.

Обычно магнитопровод преобразователя собирают из тонких ферромагнитных пластин толщиной 0,05—0,3 мм с окнами, через которые проходит обмотка. Причем его геометрические размеры выбирают такими, чтобы собственная механическая частота преобразователя совпадала с рабочей частотой излучения. При пропускании через обмотку преобразователя переменного тока магнитное поле вызывает периодическое удлинение или укорочение магнитопровода, торцовая поверхность которого излучает ультразвуковые колебания. При воздействии ультразвука на магнитопровод преобразователя в нем возникает пере-

[1] «Пьезо» в переводе с греческого означает «сжимаю».
[2] «Стрикция» в переводе с латинского означает «сжатие».

менное магнитное поле, наводящее ЭДС в обмотках. Поэтому один и тот же преобразователь может работать как излучатель и как приемник ультразвуковых волн.

Электрострикция — изменение размеров диэлектриков под действием электрического поля. Это явление положено в основу работы электростатического преобразователя. Обычно такой преобразователь представляет собой плоский конденсатор, один из электродов которого подвижен и служит приемоизлучающей мембраной. Если к электродам приложить переменное напряжение, то на них появятся разноименные электрические заряды, которые вследствие взаимного притяжения и отталкивания вызывают колебания подвижной обкладки — источника ультразвуковых волн. В режиме приема обкладка колеблется под действием акустических волн, в результате чего изменяется межэлектродная емкость.

Итак, пьезоэлектрические, магнитострикционные и электростатические преобразователи различаются по принципу действия и конструктивному исполнению. Целесообразность применения какого-либо типа преобразователя зависит от конкретных производственных или технических задач и условий, где их будут применять.

Известно, какое значение сегодня придается одной из важнейших проблем века — чистоте атмосферы в городах и на промышленных предприятиях. Ведь некоторые технологические процессы, особенно в медицинской, вакуумной, электронной, химической и некоторых других отраслях промышленности, требуют исключительной чистоты воздуха. Следить за чистотой воздуха в таких случаях «предоставляют» акустическому пылемеру АП-1 — прибору, в котором использован пьезоэффект и свойство акустических колебаний затухать из-за поглощения их энергии частицами пыли. Прибор позволяет обнаружить наличие пыли в воздухе в размере 10—20 мг/м^3.

Использование эффекта Доплера в ультразвуковой локации позволяет построить ряд оригинальных автоматических устройств, выполняющих самые различные функции. Примером этого может служить система акустической охраны. С ее помощью возможно обнаружение движения воздушных потоков, перемещения, даже самые осторожные, человека или предметов в помещении, появления пламени пожара, утечки воды из труб и т. д.

В науке, технике и производстве получила широкое

распространение ультразвуковая дефектоскопия. Объясняется это ее высокой чувствительностью, надежностью, простотой и эффективностью. Первый ультразвуковой дефектоскоп был изобретен С. Я. Соколовым в 1928 г. С его помощью можно было обнаруживать трещины и раковины в металлах и пластмассе. Это «видение» скрытого внутри изделия или материала, «видение» невидимого, недоступного непосредственно глазу, часто называют интроскопией.

Принцип действия дефектоскопа прост. Узкий пучок ультразвуковых волн проходит сквозь исследуемое изделие. Если в нем есть трещина или раковина, то волна частично отражается и идет обратно, где она улавливается приемником. По характеру отраженного сигнала обычно и судят о дефекте.

В настоящее время в промышленности применяют большое количество разнообразных по назначению и принципу действия ультразвуковых дефектоскопов. Например, дефектоскоп ДСТ-5М автоматически контролирует качество сварных швов, а ДУК-17 — пластмассовых гребных винтов. Для сортировки стальных труб разработан дефектоскоп ИДЦ-8, а прибор ДЦК-21 проверяет качество клеевых изделий из металла и стеклопластика и др.

Ультразвуковые дефектоскопы позволяют измерять толщину стенок в резервуарах, где нельзя и подступиться с обычными измерительными инструментами, помогают обнаруживать коррозию металлических поверхностей в труднодоступных местах, контролировать прочность не только готовых железобетонных изделий, но и нарастание прочности бетона в изделиях, проходящих цикл тепловой обработки.

Еще одну важную работу поручили ультразвуку в процессах контроля: он помогает получить сведения об износе деталей, отыскать неполадки внутри машины, не разбирая ее.

С помощью ультразвука в металлургии получают дисперсные сплавы, обладающие высокой прочностью, смеси графита и бронзы, свинца и алюминия. Обычные же способы не позволяли равномерно смешивать эти материалы.

Ультразвук помогает людям, потерявшим зрение, ориентироваться в пространстве. Для этого созданы специальные очки. В переносицу таких очков вмонтирован ультразвуковой излучатель. Отраженные волны поступа-

ют на приемники, расположенные в дужках очков около ушей. По времени звучания, высоте тона и степени громкости звука слепой человек определяет местонахождение предметов и их размеры.

Весьма перспективно применение ультразвука в сельском хозяйстве. Обработка ультразвуком определенной частоты и интенсивности семян повышает их всхожесть, ускоряет рост растений, увеличивает их урожайность и повышает устойчивость их к многим заболеваниям и ядохимикатам.

Применяют ультразвук и для борьбы с сельскохозяйственными вредителями. Так, под воздействием ультразвуковых колебаний частотой 50 кГц гусеницы покидают поле. А вот для уничтожения личинок комара используют ультразвук с частотой 200 кГц.

Интенсивный ультразвук уничтожает микроорганизмы. При его воздействии, например, активность вирусов гриппа снижается в тысячи раз, а такие бактерии, как стафилококки, вирусы энцефалита, туберкулезные палочки, уничтожаются полностью.

Широко применение ультразвука в настоящее время. Но какую работу еще поручат ультразвуку, какие новые приборы создадут — покажет будущее. Сейчас можно только уверенно сказать, что возможности ультразвука далеко не исчерпаны.

ОТ ФОНОГРАФА ДО МАГНИТОФОНА

Человек всегда мечтал сохранить звук и особенно музыку не только в знаках, символах, но и непосредственно в звуках, рожденных великими исполнителями. Ученые и изобретатели неустанно пытались различными способами решить проблему сохранения звука, «законсервировать» его. Консервация звука имеет огромное культурное и социальное значение. Без нее, например, музыкальное произведение, исполненное однажды гениальным музыкантом или певцом, «погибало». Ведь чтобы услышать его вновь, надо, чтобы оно было исполнено еще раз.

Впервые записать звук удалось в начале XX в. английскому физику Томасу Юнгу — одному из создателей волновой теории света. Его способ был весьма прост: звуковые колебания фиксировались на закопченной бумаге.

Первым аппаратом, позволившим произвести запись звуковых колебаний, был фоноавтограф француза Леона

Скотта. Основными частями изобретенного им в 1857 г. аппарата были рупор, мембрана и соединенное с ней перо и барабан. Источник звука помещали у рупора. Барабан вращали рукой, и перо, совершавшее колебательные движения в такт с мембраной, выполняло поперечную запись на закопченной цилиндрической поверхности барабана. Воспроизвести такую запись было нельзя. Она служила лишь для визуального изучения зафиксированных звуковых колебаний.

Прошло 20 лет. И вот в 1877 г. знаменитый американский изобретатель Томас Альва Эдисон впервые в мире продемонстрировал сконструированный им аппарат не только для записи, но, главное, и для воспроизведения звука. Аппарат назвали фонографом. С этого момента и начинает свое летоисчисление история звукозаписи.

Фонограф Эдисона состоял из покрытого тонкой металлической фольгой валика, совершавшего вращательно-поступательное движение, и мембраны с иглой, жестко связанной с рупором. При вращении валика мембрана, приводимая в движение звуковыми колебаниями, например человеческого голоса, с помощью иглы вычерчивала на металлической фольге бороздку различной глубины.

Для воспроизведения звука нужно было установить иглу на начало канавки и снова привести валик во вращательное движение. Игла, скользя по канавке, начинала колебаться. Эти колебания, воздействуя на мембрану, создавали в рупоре записанные ранее звуки.

Фонограф Эдисона завоевал очень широкую популярность во всем мире. Но запись звука на валиках имела существенный недостаток: с нее нельзя снимать копии и тем самым ее нельзя было тиражировать.

Прошло еще 10 лет. В 1888 г. немец Эмиль Берлинер предложил оригинальный способ тиражирования первичной записи звука, которую предварительно выполняли на плоском диске. Это была первая пластинка. Ее Берлинер изготовил путем давления матрицы на разогретый целлулоидный диск. Впоследствии целлулоид заменили массой из шпата, сажи и шеллака. Одновременно Берлинер изобрел аппарат для воспроизведения звуковой записи, зафиксированной на грампластинке. Этот аппарат он назвал граммофоном. Основными его элементами были мембрана, звукопровод в виде рупора и приводной пружинный механизм. В мембране имелся вибратор в виде рычага, одно

плечо которого соединялось с воспроизводящей иглой, а другое — с центром диафрагмы, служащей излучателем звуковых колебаний.

В начале нашего века граммофон завоевал весь мир. Только в России, по свидетельству журнала «Новости граммофона», в 1907 г. у населения находилось около полумиллиона граммофонов.

Звукозапись на заре своего развития производилась только механическим способом. Звук улавливался одним или несколькими рупорами. В рупоре звуковые волны как бы фокусировались на диафрагму, помещенную в его основании. Колебания диафрагмы через рычаг поступали на резец, который на вращающемся дисковом носителе записи вырезал звуковую дорожку (канавку). Во время записи диск вращался с постоянной скоростью 78 об/мин, а резец перемещался вдоль радиуса диска от края к его центру. Если в рупор не поступало звуковых сигналов, резец не колебался и вырезал канавку без извилин. При поступлении звуковых колебаний на резец он начинал колебаться и вырезал извилистую канавку. Из-за несовершенства аппаратуры частотный диапазон записи был примерно равен 150—400 Гц.

С развитием радиотехники механический способ звукозаписи был заменен электрическим, что существенно улучшило качество записи. При этом способе звуковые колебания поступают на микрофон, который преобразует их в электрические колебания. Затем они усиливаются в электронном усилителе до требуемой величины и лишь после этого поступают на записывающий прибор — рекордер. Он преобразовывает электрические колебания в механические колебания резца. Частотный диапазон при таком способе записи соответствовал 50—10 000 Гц.

В наше время широчайшее распространение получил магнитный способ записи и воспроизведения звука, основанный на способности некоторых материалов намагничиваться и сохранять такое состояние после выхода из магнитного поля.

Впервые эту идею в 1898 г. использовал датский физик В. Паульсен в аппарате, названном им «телеграфоном». В телеграфоне, в отличие от аппарата Эдисона, вместо металлической фольги вращающее устройство наматывало на барабан стальную проволоку. Электрические сигналы от микрофона поступали в обмотку стержневого магнита, ко-

торый при вращении барабана передвигался вдоль его оси, касаясь проволоки и намагничивая ее в такт со звуковыми колебаниями. А при воспроизведении сделанной записи к обмотке стержневого электромагнита подключали головные телефоны. В этой обмотке индуцировалась электродвижущая сила, соответствующая записанным звуковым колебаниям.

«Телеграфон» не получил широкого распространения, так как был громоздок и довольно тяжел. Проволока путалась, часто рвалась, а соединять ее было нелегко, да и качество записи было невысоким. Не удивительно, что магнитная запись еще долго не могла конкурировать с механической записью.

Долгие годы совершенствовалась аппаратура и носители магнитной записи. Наконец в 1934 г. в Германии был разработан и подготовлен аппарат «Магнетофон» и магнитная лента для записи и воспроизведения звука. Такое название аппаратуры для магнитной записи звука сохранилось, правда, в несколько измененном виде (магнитофон) до наших дней.

Демонстрация магнитофона на Берлинской радиовыставке в 1935 г. произвела настоящую сенсацию. Начиная с этого времени магнитофоны все шире и шире стали внедряться в практику во многих странах.

Магнитная запись все время совершенствуется. Очень большое распространение она получила в вычислительной технике, в различных системах управления. Уже стала реальностью магнитная запись изображений при помощи видеомагнитофонов. Диктофоны, телефонные ответчики, автоматические информаторы — это далеко не полный перечень, где магнитную запись с успехом используют. А инженерная мысль находит все новые и новые области применения магнитной записи, о которых мы порой не могли ранее и предполагать.

СТЕРЕОФОНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ЗВУКА

Сегодня наш быт трудно представить без радиоприемника, проигрывателя, магнитофона, телевизора. И несмотря на то что техника монофонической звукопередачи достигла большого совершенства, она все же не в состоянии удовлетворить возросшие эстетические и художественные требования к качеству передачи, особенно музыки.

Дело в том, что при прослушивании, например, музыкальной монофонической радиопередачи звуки от всех инструментов оркестра приходят к слушателю из одной точки (оттуда, где расположен громкоговоритель), поэтому такая передача звука имеет существенный недостаток — нарушается естественность восприятия, отсутствует пространственный эффект.

Конечно, можно улучшить качество восприятия передачи, увеличив количество громкоговорителей, подключаемых к выходу радиоприемника. Но этим только расширяется фронт излучения звука и улучшается акустическая обстановка музыкального воспроизведения. Однако определить местоположение отдельных источников звука в этом случае практически невозможно из-за точечного «изображения» каждым громкоговорителем звуковой картины.

В повседневной жизни человек сравнительно легко определяет расположение того или иного источника звука в пространстве благодаря так называемому бинауральному эффекту, т. е. способности человека с помощью органов слуха определять направление на источник звука. Поэтому можно, находясь в зрительном зале, даже с закрытыми глазами, определить на слух, где расположены музыкальные инструменты оркестра.

Чтобы слушатель получил впечатление пространственного расположения различных источников звука, используют всевозможные системы и радиоэлектронные устройства. Рассмотрим кратко некоторые из них.

Псевдостереофонические одноканальные системы. С их помощью можно наиболее простым способом создать у слушателя эффект стереофонии. Для этого сигнал на выходе усилителя низкой частоты, например монофонического радиоприемника или проигрывателя, с помощью фильтров разделяют на высокочастотные и низкочастотные составляющие. Затем их подают на два разнесенных в пространстве громкоговорителя.

Псевдостереофонический эффект можно получить и другим способом. Монофоническую программу направляют в помещение, где находятся слушатели, к нескольким громкоговорителям, соответствующим образом регулируя уровни громкости каждого из них. В результате возникает впечатление перемещения звука. Этот способ часто применяют для получения эффектов «прилет самолета», «движение поезда или автомобиля» и т. п.

Квазистереофонические («почти стереофонические») *системы* позволяют получить наибольшее приближение к стереофоническому звучанию. В их монофонический сигнал, поступающий, например, с микрофона, усиливается и воспроизводится через громкоговоритель. Этот же сигнал одновременно подается на ревербератор, затем также усиливается и воспроизводится двумя другими громкоговорителями, расположенными так, чтобы их звучание создавало в помещении впечатление отраженных звуковых волн. Добиваясь оптимального соотношения сигналов в обоих каналах воспроизведения, можно получить эффект стереофоничности.

Рассмотренные системы проще стереофонических, но они существенно уступают им в качестве воспроизведения.

Высококачественная запись, усиление, передача и воспроизведение звуковой программы в диапазоне 20—20 000 Гц — задача непростая. Поэтому решается она обычно путем создания весьма сложной стереофонической аппаратуры.

Преимущества стереофонического звучания перед монофоническим очевидны. Благодаря стереофонии слушатель имеет возможность как бы находиться непосредственно в помещении передачи (в зрительном зале). Но это не единственный и определяющий критерий предпочтительности стереофонической передачи перед монофонической. Сравнивая эти передачи, экспериментаторы сделали некоторые выводы. Во-первых, стереосистема способна в какой-то мере передавать информацию о размещении источников звука в пространстве. Особенно это заметно при воспроизведении симфонических и эстрадных музыкальных программ. Во-вторых, стереосистема может создать достаточно убедительную иллюзию присутствия слушателя в том помещении, откуда ведется передача. В-третьих, стереофонический способ одновременной передачи звука от нескольких источников позволяет слушателю выделить из общей музыкальной картины конкретный источник. Кроме того, с помощью стереофонии можно получить различные звуковые эффекты в театральных постановках, на эстраде, в кино, в радиопередачах. Особенно большое распространение стереофония получила в производстве грампластинок и магнитофильмов.

Для записи и передачи звуковых программ широко используется двухканальная система стереофонии. Суть ее

в следующем. В студии, откуда ведется передача, устанавливают на расстоянии 1,5—2 м два микрофона. Каждый из них через канал звукопередачи соединен с громкоговорителем, находящимся в помещении прослушивания. Оба громкоговорителя располагают соответственно микрофонам. Все это позволяет слушателю воспринимать звуковые волны так же, как если бы он находился в самой студии.

В зависимости от числа слушателей и площади помещения громкоговорители стереосистемы размещают на расстоянии 1,5—5 м один от другого (это ширина базы) и на высоте 1,5—2 м от пола. Наилучшее положение слушателя будет в точке, расположенной на оси симметрии громкоговорителей и на расстоянии от них, равном ширине базы.

Качество воспроизведения стереопрограммы во многом зависит от уровня громкости: чем ближе он к уровню звучания первоисточника, тем больше проявляется стереоэффект. При этом между слушателем и громкоговорителями не должны находиться какие-либо предметы.

Обычно установку громкоговорителей и границы оптимального стереоэффекта контролируют с помощью специальных стереофонических испытательных грампластинок или магнитофильмов. Попутно проверяют правильность подключения каналов (левого и правого), уровни громкости в каналах, фазировку громкоговорителей.

В настоящее время широкое распространение получили двухканальные стереофоничные магнитофоны и электрофоны, а также стереофоническое радиовещание, которое ведется в УКВ диапазоне (выбор этого диапазона продиктован сравнительно малым уровнем помех и возможностью получения широкой полосы пропускания, определяющей частотный диапазон передачи).

Отличительная особенность стереомагнитофона — наличие двух независимых каналов записи и воспроизведения. Регулировка уровня записи или воспроизведения производится одновременно в обоих каналах сдвоенными регуляторами.

В схемы оконечных усилителей введен так называемый регулятор стереобаланса. При помощи его устанавливают равенство уровней усиления каждого канала. Этим же регулятором при воспроизведении фонограммы можно увеличить уровень усиления в правом (либо в левом) канале,

что позволяет изменять пространственную картину звукового поля или подчеркивать в отдельные моменты времени отдельные источники звука.

Стереофоническая грамзапись и воспроизведение также имеет отличия от монофонической. При монофонической записи резец совершает колебания только в одном направлении.

При стереозаписи резец колеблется в двух взаимноперпендикулярных направлениях — горизонтальном и вертикальном. Поэтому и ширина, глубина звуковой канавки изменяются.

Звукосниматели, используемые для воспроизведения фонограмм со стереопластинок, снабжаются иглами, радиус закругления острия которых не превышает 16—18 мкм (радиус закругления острия иглы для воспроизведения монофонической пластинки около 25 мкм). По этой причине не рекомендуется проигрывать стереофонические грампластинки обычной иглой, так как она может повредить звуковую канавку.

Использование острой иглы повлекло за собой соответствующее снижение массы звукоснимателя до 2—6 г, чтобы уменьшить слишком быстрый износ иглы и стенок звуковой канавки.

Все стереофонические электрофоны имеют сдвоенный регулятор уровня громкости, разделенную регулировку тембра по низшим и высшим частотам и регулятор стереобаланса.

ЭЛЕКТРОННАЯ МУЗЫКА

Музыка справедливо считается древнейшим видом искусства. Она родилась еще у истоков человеческой цивилизации. Уже издавна человек изобрел различные музыкальные инструменты, благодаря которым научился находить приятные сочетания звуков — создавать музыкальные мелодии. Свои чувства, переживания и мысли он стал передавать на языке музыки. Удачные находки запоминались. Появились первые композиторы. Поэтому на всем протяжении развития музыкальной культуры постоянно изыскивались музыкальные средства, совершенствовались и сами музыкальные инструменты. И к началу XIX в. оркестровый инструментальный фонд был уже достаточно внушительным.

Все известные к тому времени музыкальные инструменты были построены на основе механических способов получения звука. Поэтому неудивительно, что все реже и реже появляются музыкальные инструменты, построенные на традиционных технических принципах. Их можно буквально пересчитать по пальцам: саксафон — духовой инструмент, изобретенный А. Саксом в середине прошлого века; челеста, впервые использованная П. И. Чайковским в партитуре балета «Щелкунчик»; виброфон и некоторые другие «новинки», которые на самом деле являются не чем иным, как старинными народными инструментами возрожденными современными мастерами.

Необходимость использования достижений новой техники при дальнейших разработках музыкальных инструментов назрела еще в прошлом столетии. Внимание изобретателей оказалось устремленным к электрическим и электромеханическим способам получения звуковых колебаний.

Союз звука и электричества возник более 140 лет назад. В 1837 г. исследователь Пейдж обнаружил, что железный стержень под действием переменного тока может совершать колебания, издавая при этом звук. Несколько позже это подтвердили и другие исследователи. Но в то время обнаруженное явление еще не могли использовать на практике.

В 1907 г. русский изобретатель Плаусон получил патент на электромузыкальный инструмент, названный им телесимфониум. По замыслу автора, основу инструмента должны были составлять преобразователи постоянного тока в переменный с частотами, соответствующими колебаниям струн рояля. А преобразование электрических колебаний в звуковые должно было совершаться с помощью телефона.

Первым практическим воплощением электрических музыкальных инструментов стал телармониум, который был построен американцем Кахилломом в начале нашего столетия. Это было огромное сооружение, целая «музыкальная электростанция» с генераторами, вырабатывающими переменные напряжения звуковых частот. Масса его была около 200 т, и для его перевозки требовалось, по свидетельству современников, почти 40 железнодорожных вагонов.

Были и другие проекты и модели. Но из-за низкого

уровня техники того времени все они не нашли практического применения. И только после изобретения микрофона, электронной лампы, громкоговорителя, общего развития радиотехники стало возможно появление совершенных электромузыкальных инструментов.

Наиболее интересное изобретение в области музыкальных инструментов принадлежит Льву Сергеевичу Термену. В 1921 г. в Москве в здании Политехнического музея он впервые исполнил на своем «терменвоксе» — совершенно необычном и никому ранее не известном электромузыкальном инструменте — концертную программу участникам Восьмого Всероссийского электротехнического съезда. По внешнему виду «терменвокс» представлял собой небольшой ящик с вертикальным металлическим штырем, установленным на его крышке. Ни клавиатуры, ни грифа, ни клапанов — ничего, что было обязательными атрибутами для обычного музыкального инструмента, «терменвокс» не имел.

Изобретатель, исполняя музыкальную программу, не прикасался к инструменту, а лишь, расположившись перед ним, совершал в пространстве свободные и плавные движения руками. В результате возникала певучая мелодия, которая как бы появлялась из воздуха. К тому же звучание инструмента было необычным: оно то напоминало напевы человека, то игру на флексоне или пиле. «Терменвокс» вызвал большую сенсацию, громадный успех у слушателей.

На каком же принципе основана работа этого инструмента? В нем электрические колебания звуковых частот генерировались двумя высокочастотными генераторами. Один из них работал на фиксированной частоте, а частота другого генератора определялась рукой исполнителя и небольшой вертикальной штыревой антенной, подключенной к его колебательному контуру. Рука и антенна представляли собой своеобразный воздушный конденсатор (его емкость зависела от расстояния между антенной и рукой), который был подключен параллельно конденсатору колебательного контура этого генератора. Таким образом, при игре на «терменвоксе» движением руки исполнитель управлял высотой тона в диапазоне пяти октав.

В 1922 г. ленинградские инженеры В. А. Гуров и В. И. Волынкин изобрели новый музыкальный инструмент — виолену. В отличие от терменвокса при игре на

ней пальцы исполнителя находились на контактирующей поверхности реостата, с помощью которого изменялась частота колебаний генератора и, следовательно, высота тона в громкоговорителе. Это был первый электромузыкальный инструмент с грифом, значительно облегчавший исполнение музыкальных программ.

За период с 1922 по 1936 г. были созданы и другие грифовые электромузыкальные инструменты: сонар — инженера Н. С. Ананьева, экводин — инженеров А. А. Володина и К. И. Ковальского, эмиртон, в создании которого принимал активное участие известный советский акустик профессор А. В. Римский-Корсаков, внук знаменитого русского композитора. Все созданные инструменты принадлежали к так называемым одноголосным, поскольку звуки при игре на них могли следовать один за другим последовательно, т. е. в каждый данный момент времени можно получить лишь одной высоты звук.

Одноголосные электромузыкальные инструменты постепенно совершенствовались на основе новых технических решений и конструкций. Так, вместо грифа была применена клавиатура. Нажимая на ту или иную клавишу, тем самым изменяли сопротивление в схеме генератора звуковой частоты, а следовательно, и частоту его генерации, соответственно и высоту звука.

В настоящее время одноголосные инструменты, несмотря на их сравнительную простоту, вытесняются более сложными, но представляющими большой интерес, многоголосными инструментами — электроорганами самых различных модификаций. Кроме того, большое распространение получают так называемые адаптеризованные инструменты, из которых наиболее популярна электрогитара.

Основой любого электромузыкального инструмента являются генераторы звуковых колебаний, собранные обычно на лампах или транзисторах. Исполнитель с помощью специальных устройств, так называемых манипуляторов, подает в нужные моменты и в нужной последовательности сигналы с возбужденных генераторов к усилителям и громкоговорителям. Манипуляторы представляют собой системы контактов, замыкающихся при нажатии исполнителем соответствующей клавиши.

В таких электромузыкальных инструментах можно в широких пределах менять тембр инструмента, придавая

ему иногда совершенно новое и нетрадиционное звучание.

Для формирования тембров в электромузыкальных инструментах часто используют специальные усилители, отдельные звенья которых имеют различные частотные характеристики. Действие такого усилителя (его иногда называют темброблоком) аналогично действию резонаторов обычных музыкальных инструментов или характерных зон полости рта, образующихся при воспроизведении речевых или вокальных звуков.

Электромузыкальные инструменты могут существенно обогатить звучание оркестра. Иногда один лишь многоголосный электромузыкальный инструмент в руках умелого исполнителя может зазвучать подобно целому оркестру.

В последние годы все больше музыкантов в разных странах обращаются к так называемой синтетической, электронной музыке. При этом не следует смешивать музыку, исполняемую на электромузыкальных инструментах, с тем, что сейчас принято называть «электронной» музыкой.

Электромузыкальные инструменты предназначены для исполнения произведений, написанных в традиционном стиле, с соблюдением определенных, общепринятых музыкальных норм. Это конкретная музыка, все звуковые объекты которой имеют своим источником знакомый нам мир звуков.

Звуки же электронной музыки целиком создаются с помощью аппаратуры, благодаря которой можно получить напряжение звуковой частоты разной формы с последующей ее обработкой тем или иным путем. Электронная музыка — это особая система использования звуковой техники для создания, обработки и организации звукового материала и записи его на магнитную ленту. Создается она, как правило, в специальных, соответствующим образом оснащенных, студиях. В комплект аппаратуры таких студий обычно входят различные генераторы, преобразователи частоты и формы колебаний, шумовые генераторы, магнитофоны с переменной скоростью движения ленты, многодорожечные магнитофоны, реверберbegin раторы, линии задержки звуковых сигналов и другие устройства.

Электронная музыка представляет для творческой фантазии композитора большие возможности, прежде всего при поиске им новых тембров, новых звуковых структур,

Глава 8

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА СВЕТОВЫХ ВОЛН

вет и радиоэлектроника? Здесь читатель вправе спросить: а какое отношение имеет свет к объекту данной книги — радиоэлектронике?

В том-то и дело, что самое непосредственное. Ведь волны видимого света — те же электромагнитные волны только с частотами, в миллионы раз большими, чем те, на которых ведутся радиопередачи. Именно для световых волн были созданы новые электронные приборы — лазеры, называемые еще квантовыми генераторами оптического диапазона, которые нашли применение практически во всех отраслях радиоэлектроники.

Прежде чем рассказать о преимуществах нового диапазона электромагнитных волн, кратко познакомимся с физическими явлениями, положенными в основу создания лазеров.

ЧТО ТАКОЕ СВЕТ?

Пожалуй, ни одно физическое явление не имеет такой интересной истории, как свет. На протяжении многих веков человек стремился раскрыть тайны света. До нас дошли древние рисунки египтян, где они изображали Солнце как щедрого владыку, одаривающего людей земными благами, освещающего и согревающего живую природу.

Одна из первых попыток объяснить природу света была предпринята в V в. до н. э. Пифагором. Согласно его теории видимые предметы под действием света как бы испускают крохотные частицы, которые, попадая в глаз человека, создают изображение этого предмета. Демокрит же

считал, что ото всех тел происходит мгновенное истечение образов, воздух между предметом и глазом уплотняется и, принимая окраску, отражается в глазах. Аристотель выдвинул свою гипотезу: излучение от видимых предметов к глазу передается через некую разреженную среду.

Свет изучали и многие ученые средневековья. Так, законы распространения, отражения и преломления света были открыты ими на основании наблюдений и простых опытов. Но они, по существу, ничего не говорили о физической природе света. Г. Галилей и И. Ньютон считали, что свет — это частицы. Против такого положения выступали Х. Гюйгенс, М. В. Ломоносов, Г. Юнг, О. Френель — сторонники волновой теории.

Явления дифракции и интерференции, а позднее и открытие поляризации света убедительно доказали справедливость волновой теории света. Оставалось лишь выяснить связь световых явлений с другими физическими процессами.

В 70-х годах прошлого столетия Д. Максвелл вывел свои знаменитые уравнения и создал теорию электромагнитного поля, объяснив природу света электромагнитным волновым процессом. А после опытов Г. Герца, А. С. Попова, П. Н. Лебедева никто уже не сомневался, что свет — это электромагнитные волны.

В начале XX в. известный немецкий физик М. Планк сделал вывод, что свет поглощается и испускается атомами и молекулами не непрерывно, а в виде отдельных, вполне определенных порций — квантов. Энергия каждой такой порции излучения пропорциональна частоте излучения.

В 1905 г. А. Эйнштейн, объясняя явление фотоэффекта, ввел представление о частицах света — фотонах. Он предположил, что свет — это поток фотонов. Фотоны — частицы излучения — обладают двойственной природой. С одной стороны, они имеют некоторые особенности волн. Волновые свойства фотонов проявляются в явлениях дифракции и интерференции света. С другой стороны, фотону присущи и корпускулярные свойства. Это выражается в том, что фотон при любых взаимодействиях с другими частицами ведет себя как единое целое.

Квант электромагнитного излучения — фотон в покое не существует и «права» частицы приобретает только при движении со скоростью света. Процессы, приводящие к

появлению фотона, к «рождению» света, разнообразны. Наиболее характерен процесс рождения света в результате переходов атомов (молекул), происходящих в излучаемом веществе, из возбужденных состояний в невозбужденные или, точнее, из более возбужденных состояний в состояния менее возбужденные.

Известно, что возможные значения энергии атома (молекулы) дискретны. В связи с этим говорят о системе энергетических уровней атома (молекулы). Если атом, например, совершил переход из состояния с энергией E_2 в состояние с меньшей энергией E_1, т. е. перешел с энергетического уровня E_2 на энергетический уровень E_1, то такой переход сопровождается излучением фотона с энергией E_2-E_1.

Обратный переход атома сопровождается поглощением фотона с энергией E_2-E_1.

Положение атомов на верхних энергетических уровнях не устойчиво, они могут самопроизвольно переходить с одного уровня на другой. Такой самопроизвольный (спонтанный) переход с одного уровня на другой сопровождается излучением квантов световой энергии. Это излучение происходит на различных длинах волн неодновременно. Поэтому суммарное спонтанное излучение различных атомов в веществе некогерентно. Примером такого излучения служат обычные источники света — лампы накаливания, газоразрядные лампы и т. п.

Однако атом может перейти с верхнего энергетического уровня на нижний не спонтанно, а под действием внешнего электромагнитного поля, частота которого соответствует частоте перехода. В этом случае атомы отдают энергию электромагнитной волне в виде когерентного излучения. В результате такого вынужденного (стимулированного, индуцированного) излучения возникает своеобразная «индукция света».

Это явление позднее стало основой для разработки оптических квантовых генераторов.

Итак, что же такое свет — волны или частицы? Свет — одновременно и волны, и частицы! Волновая теория объясняет явление дифракции и интерференции, а корпускулярная — законы испускания и поглощения света. Так две теории — волновая и корпускулярная — помогли объяснить природу света, расширить наши знания об окружающем мире.

СВЕТОВАЯ ЛАВИНА

Возможность использования явления вынужденного излучения для усиления световых колебаний была впервые отмечена в 1939—1940 гг. профессором В. А. Фабрикантом. Это важное открытие в 1951 г. было оформлено как изобретение.

В начале 50-х годов многие ученые занимались изучением и практическим освоением вынужденного излучения. Решающего успеха достигли в 1954 г. советские физики Н. Г. Басов и А. М. Прохоров и одновременно американский ученый Ч. Таунс. Им удалось впервые использовать индуцированное излучение для создания квантовых усилителей и генераторов. Так родились удивительные и невиданные источники света — лазеры.

Относить лазерную технику к радиоэлектронике или нет — вопрос терминологический. Однако развитие лазерной техники — это продолжение того же процесса освоения более коротких электромагнитных волн. Многие методы радиоэлектроники используются в этой области, и ее развитие в основном обязано работам радиофизиков и радиотехников. Рассмотрим принцип действия рубинового лазера (рис. 17). Основная его деталь — небольшой стержень, с плоскопараллельными торцами, причем один сделан зеркальным, а другой (выходной) — полупрозрачным. Стержень изготовлен из рубина, представляющего собой окись алюминия (Al_2O_3) с примесью ионов хрома. Надо сказать, что именно эта примесь обусловливает характерную окраску рубина (от розовой до ярко-красной).

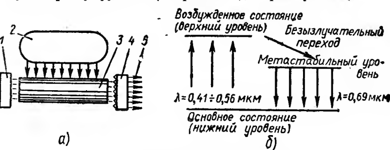


Рис. 17. Рубиновый лазер:

а — функциональная схема лазера: *1* — непрозрачное зеркало; *2* — источник возбуждения; *3* — активное тело; *4* — полупрозрачное зеркало; *5* — стимулированное излучение; *б* — упрощенная схема энергетических уровней атомов хрома.

Под действием мощной импульсной лампы, дающей яркие вспышки сине-зеленого света ($\lambda=0{,}41\div0{,}56$ мкм), ионы хрома возбуждаются, т. е. переходят на верхний энергетический уровень. Но такое положение для ионов хрома неустойчиво и продолжается очень короткое время ($2\cdot10^{-8}$ с). Затем происходит переход их в более низкое возбужденное состояние и вместе с этим отдача части энергии в виде тепла, которое нагревает кристалл рубина. Это промежуточное возбужденное состояние называется метастабильным, потому что ионы хрома могут находиться в нем сравнительно долго (примерно $2\cdot10^{-3}$ с). За это время происходит накапливание ионов на метастабильном уровне. В результате число ионов на этом уровне становится больше числа ионов в основном состоянии.

Таким образом, в системе возникает «перенаселенность» энергетического уровня — условие, необходимое для создания индуцированного излучения.

Далее ион хрома, переходя со второго уровня на нижний, испускает фотон. Пролетая мимо другого возбужденного иона, такой фотон вызывает у него тоже излучение. Если каждый из этих фотонов «разрядит» еще по одному возбужденному иону, количество фотонов снова удвоится. Возникает лавинное нарастание квантов света, распространяющихся вдоль оси стержня.

Увеличению интенсивности излучения лазера способствует резонатор лазера, образованный двумя зеркалами. Он предназначен для того, чтобы возвращать часть индуцированного излучения обратно в активное тело — рубиновый стержень.

Через один из торцов стержня, который выполнен в виде полупрозрачного зеркала, выходит энергия в виде мощных кратковременных импульсов красного света. Выходящий луч лазера обладает очень малым углом расходимости, имеет огромную яркость и колоссальную мощность.

«Чтобы получить от нити лампы накаливания луч света такой же яркости, как луч квантового генератора, ее потребовалось бы нагреть до температуры 10 миллиардов градусов», — писал академик Н. Г. Басов. Созданные же новые источники света не раскалены до такой чудовищной температуры, они совершенно холодные.

Вскоре после создания твердотельного рубинового лазера появились газовые лазеры, в которых в качестве активного вещества служила смесь инертных газов гелия и

неона. Газовая смесь может возбуждаться как электрическим разрядом (газоразрядные лазеры), так и при расширении и адиабатическом охлаждении сверхзвуковых газовых потоков (газодинамические лазеры).

Газовые лазеры генерируют излучение в диапазоне длин электромагнитных волн от 0,3 до 30 мкм, т. е. начиная от дальнего ультрафиолетового излучения до дальней инфракрасной области.

В начале 60-х годов внимание ученых и инженеров привлекли полупроводниковые лазеры. Благодаря им стало возможным непосредственно преобразовывать электрическую энергию в энергию световых волн. При этом коэффициент полезного действия близок к 100%. Кроме того, мощность полупроводниковых лазеров в расчете на 1 $см^3$ излучающего вещества в тысячи раз больше, чем у других генераторов. Размеры же полупроводникового лазера составляют доли миллиметра. Световой луч проходит этот путь за 10^{-12}—10^{-13} с. Такие лазеры могут работать в режиме с высокой частотой следования импульсов, что очень важно для создания вычислительных машин с колоссальным быстродействием.

Наконец, с помощью механических или магнитных воздействий, а также путем изменения процентного содержания различных компонентов кристалла, можно изменять частоты генерируемого излучения лазеров.

Появление лазеров заставило нас вновь вспомнить гиперболоид инженера Гарина. И хотя мощность созданных квантовых генераторов не так фантастична как в романе А. Н. Толстого, уже сегодня лазер способен соперничать своими удивительными свойствами с лучом гиперболоида.

ОПТИЧЕСКАЯ СВЯЗЬ

Современное общество немыслимо без средств связи. Вся наша планета окутана густой паутиной проводов, подземных и подводных кабелей, по которым ведутся тысячи разговоров. Но поток информации растет значительно быстрее, чем емкости каналов связи. Поэтому инженеры-связисты всегда мечтали использовать для целей связи свет, который намного увеличил бы возможности связи. Так, участок частот видимого света занимает частоты от $4 \cdot 10^{14}$ до $7{,}5 \cdot 10^{14}$ Гц. А это означает, что в оптическом диапазоне можно одновременно передавать около десяти

миллионов телепрограмм и десять миллиардов телефонных разговоров.

Долгие годы основным препятствием на пути освоения оптического диапазона было отсутствие необходимых источников световых волн. И только после появления источников когерентного света стало возможным использование света для передачи речи и сигналов изображения.

Для того чтобы световой луч мог «переносить» информацию, его нужно как бы «разметить», т. е. промодулировать. Управление (модуляция) лазерным излучением может быть двух видов: внутренняя и внешняя. При внутренней модуляции воздействие на световой луч осуществляется внутри оптического генератора, так же как и в обычном радиопередатчике. Наиболее простой метод внутренней модуляции — изменение в такт с передаваемыми сигналами амплитуды световых волн с помощью периодического включения источника накачки — лампы вспышки.

При внешней модуляции воздействие на световой луч осуществляется за пределами излучателя. При внешней модуляции изменение интенсивности лазерного излучения происходит путем прерывания его различными механическими затворами или электрооптическими модуляторами.

Немалые трудности возникают и при извлечении информации, содержащейся в лазерном луче. В настоящее время для этих целей применяют быстродействующие фотоэлектронные умножители (ФЭУ), представляющие собой сочетание фотоэлемента и системы электродов (динодов), изготовленных из материала с большим коэффициентом вторичной эмиссии. Фотокатод ФЭУ под действием падающего на него светового потока испускает электроны. Возникает фотоэлектронная эмиссия. Далее фототок умножается в динодной системе прибора, в результате чего выходной ток ФЭУ усиливается.

Первые оптические линии связи использовались как телефонные. В нашей стране такая линия начала работать в Ленинграде в 1964 г. А спустя два года, 22 января 1966 г., в газете «Известия» появилось сообщение: «В Москве лазеры и приемники света, установленные на одной из башен МГУ и вышке АТС на Зубовской площади, создали «световой мост» между абонентами телефонных станций «АВ-9» и «Г-6». Многие владельцы этих телефонов, сами того не зная, разговаривали друг с другом по световому лучу».

В Армении введена в опытную эксплуатацию оптическая линия связи на трассе между Ереваном и Бюраканской астрофизической обсерваторией. Расстояние между этими пунктами — 25 км. Аппаратура спроектирована и изготовлена советскими специалистами и может одновременно обслужить 24 абонента.

Рис. 18. Блок-схема приемо-передающей станции Ереван — Бюракан:
1 — лазер; 2 — оптический модулятор; 3 — оптическая антенна; 4 — визир; 5 — блок синхронизации; 6 — низкочастотные модуляторы; 7 — низкочастотное оборудование; 8 — аппаратура уплотнения; 9 — усилитель; 10 — фотоэлектронный умножитель; 11 — интерференционный фильтр; 12 — приемная антенна.

Блок-схема приемо-передающей станции Ереван — Бюракан приведена на рисунке 18.

Световой луч гелий-неонового лазера *1* проходит через оптический модулятор *2*, который управляет интенсивностью светового луча в такт с передаваемой информацией, поступающей с низкочастотных модуляторов *6*. Блок синхронизации *5* служит для разделения сигналов от различных абонентов по времени.

Дополнительная фокусировка светового луча производится линзами оптической антенны *3* с оптическим визиром *4* для наведения антенны.

На приемной стороне луч принимается антенной *12*, выполненной в виде сферического зеркала. Далее световой луч проходит через фильтр *11* и фокусируется на катоде фотоэлектронного умножителя *10*. Последний преобразует изменение светового потока в пропорциональные изменения электрического тока.

Дальнейшая обработка принятой информации осуществляется с помощью широкополосного усилителя *9* и аппаратуры уплотнения *8*, после чего информация поступает к абонентам.

Первые эксперименты с лазерными линиями связи показали их эффективность при решении задач, связанных с разгрузкой городских телефонных станций. Однако на пути их создания есть ряд серьезных препятствий.

Во-первых, световой луч в атмосфере подвержен влиянию дождя, снега, тумана и других неоднородностей воздушной среды. А это снижает не только качество передачи, но и приводит к сильному затуханию сигнала, а следовательно, к уменьшению дальности связи. Лишь в космосе, где отсутствует атмосфера, потери световой энергии минимальны.

Во-вторых, прямолинейное распространение света не позволяет преодолевать большие расстояния. Это препятствие можно преодолеть с помощью световодов — оптических стеклянных волокон, обладающих высокой прозрачностью.

Что представляет собой стеклянное волокно? Простейшее стекловолокно состоит из сердечника и оболочки. По сердечнику передают энергию излучения. Оболочка же не только предохраняет сердечник от загрязнений, но и не позволяет световой энергии рассеиваться с поверхности волокна в стороны.

Передача энергии по световоду происходит благодаря полному отражению света. Напомним, что полное отражение света происходит от границы двух сред в том случае, если скорость распространения волн в первой среде меньше, чем во второй и угол падения волны больше или равен предельному углу полного отражения.

В случае, когда поверхность раздела двух сред сделана абсолютно чистой, поток светового излучения полностью отражается в волокне без потерь. В действительности же, из-за отклонения физико-химических свойств материалов, несовершенства технологии изготовления на поверхности раздела всегда имеются неоднородности, которые приводят к ослаблению передаваемых сигналов.

В настоящее время световоды применяют для внутренней связи на кораблях, самолетах, ракетах, для связи между ЭВМ и внутри блоков ЭВМ.

На ВДНХ СССР демонстрировалась опытная линия связи, созданная советскими специалистами. По световоду пропускались импульсы света длительностью в несколько миллиардных долей секунды. По такой линии возможно одновременно передавать десятки тысяч телефонных разговоров или транслировать несколько телевизионных программ.

Появились оптические кабели, содержащие несколько оптических волокон диаметром в 0,1 мм и имеющие размер

кабеля обычной электропроводки. По такому кабелю можно передавать тысячи телефонных разговоров.

Горизонты, которые открываются перед оптической связью, выглядят поистине заманчиво. Уже в ближайшие годы возможно создание трансконтинентальных оптических линий связи. «Короткие» же линии связи (длиной до полутора десятков километров) интенсивно разрабатываются практически во всех развитых странах.

Конечно, неразрешенных проблем еще много, но огромная перспектива оптических линий связи очевидна и бесспорна.

МИР ГЛАЗАМИ ГОЛОГРАММ

Примерно 20 лет назад союз оптики и электроники вызвал к жизни новое направление в современной технике — оптоэлектронику. Оптоэлектроника — это раздел науки и техники, в котором изучают как оптические, так и электронные явления в веществах, их взаимные связи и преобразования, а также создание на этой основе новых приборов и систем для передачи, обработки и хранения информации, переносимой светом. Уже сделаны первые практически важные шаги в оптоэлектронике. И дальнейшие перспективы развития этого направления широки.

Одно направление рождает другое — так было не раз в истории науки и техники. Оптоэлектроника, в содружестве с квантовой электроникой, дала толчок бурному развитию голографии.

Слово «голография» в переводе на русский язык означает «полная запись». С научной точки зрения голография — это метод записи и воспроизведения волнового поля.

В основе голографии лежат волновые свойства света, и в частности явление интерференции и дифракции световых волн. Вспомним, что интерференция — это явление усиления или ослабления амплитуды результирующей волны при сложении волн одинаковой частоты в зависимости от соотношения между фазами складывающихся волн. Так, если волны придут в некоторую точку противоположными по фазе, произойдет ослабление колебаний, а при совпадении по фазе — усиление их. Для получения устойчивой интерференционной картины необходимо, чтобы волны были когерентными.

Дифракция света — это явление отклонения света, проходящего вблизи краев непрозрачных тел или сквозь узкие щели, от первоначального направления движения волны. В результате такого отклонения происходит огибание препятствий световыми лучами.

В 1948 г. английский физик Деннис Габор, венгр по происхождению, предложил способ, позволяющий фиксировать и воспроизводить изображение с такой полнотой, о которой раньше и не мечтали.

Чтобы постичь удивительные свойства голографии, необходимо ознакомиться с некоторыми основными особенностями ее получения, а также с отличием этого процесса от обычного фотографирования.

Объектив фотоаппарата улавливает световые волны, рассеянные объектом, и фокусирует их, регистрируя на фотопластинке лишь их интенсивность (амплитуду), т. е. световые качества объекта. Но как бы искусно фотография ни была сделана, она всегда двухмерна, плоская, как рисунок.

Голография «переводит» фотографию в третье измерение. Голограмма, в отличие от фотоснимка, регистрирует не только интенсивность, но и фазу световых волн, рассеянных от объектов, в которой содержится информация об их объеме.

В чем же состоит голографический метод получения изображений? Что же представляет собой голограмма?

Голограмма есть не что иное, как интерференционная картина световых волн. Как известно, световые волны могут складываться. Подобное происходит с волнами на поверхности воды: они могут либо усиливать, либо гасить друг друга. Все зависит от того, в какой фазе сходятся световые колебания в данной точке. Если колебания совпадают по фазе, то происходит усиление, если они противоположны по фазе, происходит ослабление волн. Но прошло много лет, прежде чем специалистам удалось зафиксировать на фотопластинке фазу световой волны. Оказалось, что для этого необходимы когерентные источники света. Когерентность — очень важное свойство волн. Оно означает наличие неизменного соотношения между фазами различных колебаний. Простейший случай когерентных колебаний — два гармонических колебания с одинаковыми частотами и постоянной разностью фаз.

Привычные для нас источники света — лампы накаливания, газоразрядные трубки и т. д.— создают некогерентный свет.

До недавнего времени генерировать когерентный свет не представлялось возможным. И только создание лазера, дающего излучение с высокой степенью когерентности, позволило реализовать методы голографии.

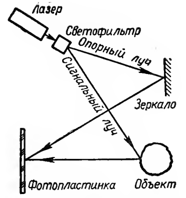


Рис. 19. Схема получения голограммы.

Чтобы получить голограмму, объект освещают лазерным лучом (рис. 19). Последний разделяют на два луча — сигнальный и опорный. Опорный луч направляют на зеркало, он отражается от него и попадает на фотопластинку. Сигнальный же луч направляют на объект, он отражается от объекта и попадает также на фотопластинку. В результате наложения этих двух групп когерентных волн на фотопластинке образуется интерференционная картина: узор из чередующихся темных и светлых участков. Фотография этой картины, полученная после обработки пластинки, называется голограммой.

Таким образом, в полученной голограмме запечатлевается вся информация об амплитудах и фазах световой волны. Каждая точка голограммы несет информацию о световых волнах, которые способствовали образованию узора из чередующихся темных и светлых полос. Поэтому, если разрезать голограмму на множество частей, то каждая ее часть воспроизведет полное изображение.

Для восстановления изображения объект съемки убирают, а голограмму помещают на то же место, где она находилась при съемке. Если затем включить лазер и посмотреть на освещенную лучом лазера голограмму, как в окошко, мы увидим объемное изображение предмета на том же месте, как будто его и не убирали. Голографическое изображение настолько реалистично, что, лишь присмотревшись к его поверхности и обнаружив кое-где пятнышки, можно догадаться, что это лишь изображение, а не

сам предмет. Как и сам предмет, его голографическое изображение можно рассматривать под разными углами.

В каких же областях применима голография? Какую пользу может она принести?

Прежде всего голограмма — это уникальное по емкости хранилище информации. На фотопластинку размером 32×32 мм можно записать 1024 голограммы, каждая из которых занимает площадь всего в один квадратный миллиметр, и хранить ее можно вечно. Причем каждая миниатюрная голограмма будет хранить, например, микроизображения страниц книги, записанные рядами ярких и темных точек. Плотность записи их настолько велика, что, например, на голографической пластинке величиной с игральную карту можно записать более двух десятков многообъемных книг.

Голография, вероятно, единственный и весьма эффективный способ сохранения детальной записи некоторых биологических и физических явлений. При этом она позволяет многократно проводить повторные оптические наблюдения «подлинных» объектов, а также детально сравнивать протекающие процессы в объектах, зарегистрированных в разное время.

Биологические микрообъекты, находящиеся во взвешенном состоянии в жидкости, часто должны рассматриваться при очень сильном увеличении. Применение для этих целей микроскопа ограничивается из-за небольшой глубины его поля зрения. Дело в том, что при помощи микроскопа четко можно наблюдать лишь те участки исследуемого объекта, которые находятся в непосредственной близости к фокальной плоскости. Голографические же методы позволяют сравнительно просто обойти отмеченные трудности; нужно лишь получить голограмму объекта с короткой экспозицией. Так как на ней будут зарегистрированы все трехмерные характеристики исследуемого объекта, то после восстановления голографического изображения его можно затем в любое время рассматривать с помощью микроскопа. Но теперь уже, устанавливая его на различные фокальные плоскости по всей глубине голографического изображения, можно полностью исследовать объект.

Оптическая голография нашла применение для точного измерения и сравнения длин волн, для измерения расстояний или трещин, соизмеримых с длиной волны све-

та, для обнаружения дефектов или неоднородностей в оптических средах, для определения показателей преломления различных материалов и т. д. Голография позволяет исследовать такие явления, которые раньше были недоступны наблюдению, например при исследовании явлений, происходящих в закрытом объеме.

Интересные результаты дает применение голографии при изучении различных физических явлений, таких, как ударные волны в аэродинамических трубах и т. п. С помощью голографии можно наблюдать даже за ходом химических реакций и процессом диффузии.

Для современных вычислительных машин проблема надежности элементов памяти и увеличение ее емкости приобретает все большее значение. В случае использования голографии значительно увеличивается емкость записи информации. Обладая большой емкостью и высокой надежностью хранения информации, позволяя производить операции над огромными массами чисел, голография открывает новые перспективы в развитии и совершенствовании вычислительной техники.

Большой интерес представляет возможность использования голографических методов в устройствах для поиска заданной информации и опознавания образов — сравнение изображений двух объектов для установления соответствия между ними. Так, опыты по проверке и опознанию отпечатков пальцев при помощи голографии дали весьма обнадеживающие результаты, причем опознание происходит даже в том случае, когда имеется лишь часть отпечатка.

Пока еще перед голографией много сложных и нерешенных проблем. Однако она уже проникает в самые разнообразные сферы деятельности человека. И нет никаких сомнений в том, что в ближайшем будущем голография войдет в нашу жизнь так же широко, как радио и телевидение.

Глава 9

ТЕЛЕВИДЕНИЕ

СВОЙСТВА ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ГЛАЗА

И известно, что подавляющую часть информации об окружающем нас мире мы получаем с помощью наших органов зрения. «Лучше один раз увидеть, чем сто раз услышать» — это сказано не зря.

Умение видеть дается нам без всяких усилий и каких-либо технических средств. В сетчатке нашего глаза имеются световоспринимающие элементы — палочки и колбочки. При помощи колбочек осуществляется так называемое дневное зрение (при большой освещенности). Палочки служат органом сумеречного зрения (при малой освещенности).

Палочки и колбочки содержат особые химические вещества, в которых под действием световых лучей происходят химические реакции, вызывающие появление электрических сигналов. Эти сигналы по нервным волокнам поступают к соответствующим участкам мозга. Не случайно, первые проекты передачи изображений на расстояние копировали строение глаза человека.

Познакомимся с основными свойствами человеческого глаза. Это необходимо для уяснения многих явлений, связанных с построением телевизионных систем.

Инерционность. Под инерционностью человеческого зрения подразумевают два явления. У человека световое ощущение возникает с некоторым опозданием (обычно через 0,05—0,2 с в зависимости от интенсивности света); исчезает восприятие света также не сразу, оно длится около 0,1 с.

Инерционность зрения используется в кинематографе. При демонстрации быстро сменяющих друг друга изобра-

жений у зрителя возникает ощущение непрерывного движения, если таких изображений будет достаточно много (обычно 24 кадра в секунду).

Чувствительность — способность глаза видеть (различать) предметы при малой освещенности.

Разрешающая способность — свойства глаза видеть в рассматриваемом предмете отдельные детали, различать раздельно две близко расположенные светящиеся точки.

Разрешающая способность определяет важнейший параметр телевизионной системы — число строк разложения изображения.

Цветочувствительность — свойство глаза различать цвета наблюдаемых предметов. Чувствительность глаза к различным цветам неодинакова. Установлено, что сетчатка глаза человека содержит три типа зрительных нервов: одни из них чувствительны к зеленым лучам, другие — к красным, третьи — к синим. Когда все три типа зрительных нервов раздражаются в одинаковой степени, человек видит белый цвет. Отсутствие раздражения всех трех типов нервов дает восприятие черного цвета. Если же раздражения нервных окончаний неодинаковы, то это воспринимается как оттенки различного цвета, в зависимости от того, какой тип зрительных нервов возбужден в большей степени.

Человеческий глаз реагирует на световые излучения, лежащие в диапазоне от 380 до 780 нм. Максимальная чувствительность глаза приходится на волну около 550 нм, что соответствует зеленому цвету.

Явление образования промежуточных цветов из трех основных называют суммированием цветов. При этом за основные цвета приняты зеленый, красный и синий, которые расположены в спектре приблизительно равномерно. Очень интересный опыт можно проделать дома с помощью трех фонарей — красного, зеленого и синего. Если осветить экран таким образом, чтобы освещаемые ими участки экрана частично совместились, то место, где произойдет наложение всех трех цветов, представится нам белым. Участок, освещаемый одновременно красным и зеленым лучами, примет желтый цвет, красным и синим — пурпурный и т. д. Таким образом, смешивая цвета, можно в известных пределах изменять цветовое содержание передаваемого изображения.

ПЕРЕДАЧА ИЗОБРАЖЕНИЯ

Мы видим окружающие нас предметы тогда, когда они или освещены, или сами обладают способностью испускать свет. В этом случае каждый предмет, состоящий из множества отдельных точек-элементов, посылает нам информацию в виде светового сигнала.

Для передачи изображения любого предмета необходимо световой сигнал каждого элемента этого предмета преобразовать в соответствующие электрические сигналы и передать их. Однако все элементы изображения одновременно не могут быть переданы по каналам связи, так как это потребовало бы установки огромного количества передающих устройств.

Выход из положения был найден после того, как русский ученый П. И. Бахметьев предложил метод поочередной передачи элементов изображения по одному каналу связи. В основу этого метода положено одно из свойств человеческого зрения, а именно его инерционность. Так как глаз удерживает изображение в течение 0,1 с, то за это время надо успеть передать построчно все изображение целиком (при передаче последней строки в сознании человека должно еще сохраняться изображение первой строки).

Процесс поочередной передачи изображения по элементам был назван разверткой изображения. Вначале в телевидении развертка изображения на элементы осуществлялась с помощью вращающегося диска (рис. 20), изобретенного немецким инженером П. Нипковым. По краям диска на одинаковом угловом расстоянии сделаны небольшие отверстия в виде спирали (рис. 20, *в*). В результате вращения диска (см. схему 20, *а*) в каждый момент времени на фотоэлемент падает тонкий луч света. Световой поток, падающий на фотоэлемент, все время изменяется в зависимости от того, какой из участков передаваемого объекта просвечивается в данный момент — светлый или темный. Вследствие этого в цепи фотоэлемента возникает пульсирующий электрический ток, который затем усиливается и далее поступает на радиопередатчик.

На приемной стороне используется точно такой же диск, который вращается строго синхронно и синфазно с диском передатчика. Здесь диск размещается между неоновой лампой и глазом наблюдателя. Сигнал, принятый

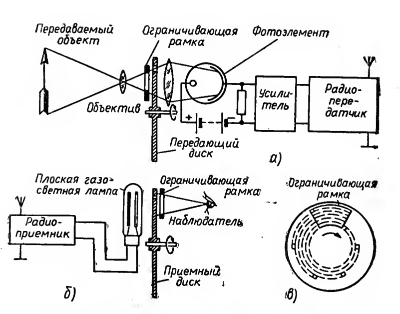


Рис. 20. Телевизионная система с диском Нипкова: *а* — передающая часть; *б* — приемная часть; *в* — диск.

радиоприемником, изменяет яркость неоновой лампы. При быстром вращении диска возникает изображение передаваемого предмета, состоящее из светящихся точек различной яркости.

На смену механическому телевидению пришло электронное телевидение. Первый проект был предложен русским ученым Б. Л. Розингом, который в 1910 г. запатентовал способ «электрической передачи изображений». Им же была изобретена трубка для «электрической телескопии». Трубки, предназначенные для воспроизведения телевизионных изображений, получили в дальнейшем название кинескопов.

Передающую электроннолучевую трубку — иконоскоп предложил в 1931 г. молодой советский ученый С. И. Катаев. С этого момента началась эра электронного телевидения.

На рисунке 21 представлена упрощенная схема передающих и приемных сторон телевизионной линии. Телевизионный сигнал образуется в телевизионной камере,

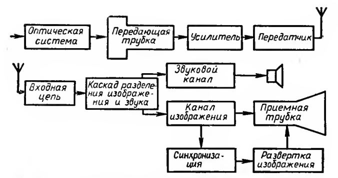


Рис. 21. Упрощенная схема передающей и приемной сторон телевизионной линии.

основной частью которой служит передающая трубка. Изображение передаваемого предмета через оптическую систему проецируется на светочувствительную поверхность трубки. Здесь происходит преобразование изображения в электрический ток. Количество электронов, вылетающих с поверхности светочувствительного слоя, зависит от его освещенности. Последняя, в свою очередь, определяется световым потоком, приходящим от передаваемого изображения. В передающей телевизионной трубке формируется электрический сигнал, соответствующий поверхности того или иного участка передаваемого изображения. Когда электронный луч «считает» все элементы передаваемого предмета строку за строкой, то совокупность всех строк образует кадр.

После получения первого кадра луч прочерчивает строки второго кадра и т. д. По принятому в СССР стандарту, каждый кадр при формате с отношением сторон 4/3 (на 4 единицы длины строки по горизонтали приходится 3 единицы длины по вертикали) состоит из 625 строк. Следовательно, в одном кадре содержится $625 \cdot 4/3 \cdot 625 \approx 500\,000$ элементов изображения .

При частоте кадров, равной 25 Гц, передается 250 000 элементов изображения; за $^1/_{50}$ с передаются четные строки, а за другие $^1/_{50}$ с — нечетные.

Электрический сигнал, полученный от передающей трубки, принято называть сигналом изображения или телевизионным видеосигналом.

Видеосигнал, полученный на выходе камеры, после усиления поступает (совместно с импульсами синхронизации) на вход передатчика, модулирует колебания высокой частоты. После этого высокочастотный сигнал подводится к антенному устройству и излучается в пространство.

Любая телевизионная передача идет со звуковым сопровождением. Для передачи звука на телецентре имеется специальная радиостанция (на рисунке не показана). Чтобы оба сигнала — звуковой и телевизионный — могли быть приняты телевизионным приемником, несущие частоты передатчиков выбирают близкими друг к другу.

Теперь перейдем к краткому рассмотрению тех превращений, которые происходят с телевизионным сигналом в телевизоре.

Все современные телевизоры строятся по так называемой одноканальной схеме (рис. 22): усилитель высокой частоты, преобразователь, усилители промежуточной и видеочастоты являются общими как для канала изображения, так и для канала звука.

Телевизионный сигнал, принятый антенной, поступает на вход селектора каналов (переключатель телевизионных каналов — ПТК), где происходит выделение сигнала той программы, которую вы выбрали. Затем усиленные сигналы изображения и звукового сопровождения поступают в канал изображения.

Назначение канала изображения — усилить сигналы изображения и подать их на управляющий электрод кинескопа и одновременно в канал синхронизации. Кроме этого, в канале изображения происходит отделение сигнала звукового сопровождения, который через фильтр поступает в канал звука.

С видеоусилителя сигнал поступает на кинескоп, где происходит изменение тока луча в такт с сигналом изображения. Это, в свою очередь, вызывает последовательное свечение точек в слое люминофора, покрывающем внутреннюю поверхность экрана кинескопа.

В канале синхронизации из сигнала изображения выделяются строчные и кадровые синхроимпульсы. Строчные синхроимпульсы через фильтр f_c попадают на генератор строчной развертки, кадровые синхроимпульсы через фильтр $f_к$ — на генератор кадровой развертки.

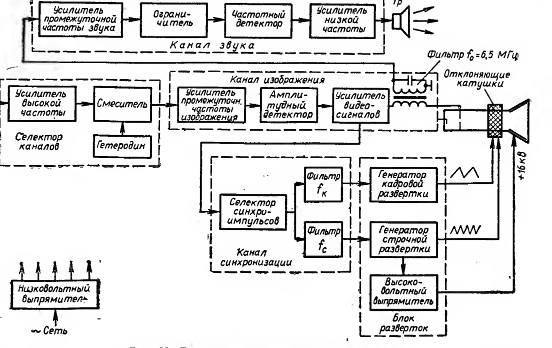


Рис. 22. Блок-схема телевизионного приемника.

Именно эти синхроимпульсы, поступая на отклоняющие катушки, заставляют электронный луч перемещаться по экрану кинескопа в полном соответствии с перемещением луча в передающей трубке.

Высокое постоянное напряжение для питания кинескопа (+16 кВ) вырабатывает высоковольтный выпрямитель за счет выпрямления части напряжения строчной развертки.

Электропитание остальных устройств телевизора осуществляется с помощью низковольтного выпрямителя.

В канале звукового сопровождения происходит выделение сигналов звуковой частоты и усиление их до величины, обеспечивающей нормальную работу громкоговорителя.

РАЗНОЦВЕТНЫЙ МИР

Великий английский ученый И. Ньютон более 300 лет назад обнаружил, что луч солнечного света с помощью трехгранной призмы можно разложить на лучи многих цветов — от фиолетового до красного. Поставив на пути вышедших из призмы лучей линзу, Ньютон вновь получил пучок белого света. Проведенный опыт позволил сделать вывод, что белый свет — это сложный свет, состоящий из цветных лучей.

Чтобы разобраться в технике цветного телевидения, необходимо прежде всего ознакомиться с колориметрией — наукой о цвете и его изменении.

В 1931 г. Международный комитет по освещению (МКО) разработал метод определения цвета, в котором для представления цвета используют систему прямоугольных координат. Цветовой график, позволяющий определять различные цвета при помощи координат x и y, представлен на рисунке 23.

На этом графике каждый цвет определен координатами x и y. Точки, лежащие на подковообразной линии, определяют так называемые спектральные цвета, а точка C с координатами $x=0{,}33$, $y=0{,}33$ — равноэнергетическую точку. Вокруг точки C находится область белого цвета. Чем дальше от точки C, тем цвета более насыщенны.

В основе цветного телевидения лежит принцип трехцветности. Согласно этому принципу цветное изображе-

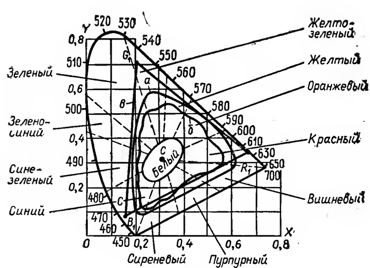


Рис. 23. График цветности.

ние получают с помощью сложения трех основных цветов: красного R, зеленого G, синего B.

Основные цвета имеют следующие координаты на графике цветности: R ($x=0{,}67$, $y=0{,}33$), G ($x=0{,}21$, $y=0{,}71$), B ($x=0{,}14$, $y=0{,}086$).

При передаче цветного изображения сигнал состоит из смешанных в определенных пропорциях трех сигналов, дающих белый свет:

$$Y=0{,}30\,R+0{,}59\,G+0{,}11\,B.$$

Индексом Y обозначается яркостный, т. е. черно-белый сигнал. Приведенное уравнение применяют для расчетов цвета в современных системах телевидения.

Впервые метод передачи цветного изображения предложил в 1889 г. русский инженер-электрик А. А. Полумордвинов. Немного позднее, в начале XX в., русский инженер И. А. Адамиан создал систему сначала двухцветного, а в 1925 г. трехцветного электронно-механического телевидения. Одновременно с И. А. Адамианом и независимо от него такая система была предложена английским изобретателем Дж. Бердом. В этих системах в качестве механического устройства использовался вращающийся диск, сконструированный немецким изобретателем П. Нипковым.

В 1929 г. советский инженер Ю. С. Волков создал систему цветного телевидения без вращающего устройства. Именно это изобретение положило начало электронным системам цветного телевидения.

В дальнейшем усилиями ученых многих стран системы цветного телевидения постоянно совершенствовались. В настоящее время существует несколько вариантов получения цветного изображения. Рассмотрим кратко самый простой из них.

На рисунке 24 приведена блок-схема, поясняющая принцип передачи и приема системы цветного телевидения с одновременной передачей цветов.

Как видно из рисунка, такая система требует три канала связи, три усилителя цвета УВС и три кинескопа — красного, зеленого и синего свечения люминофоров.

Если считать спектры цветных сигналов равными между собой: $F_R = F_G = F_B = F = 6$ МГц, то ширина полного диапазона частот, занимаемого сигналами этой системы будет в три раза больше полосы частот черно-белого телевидения:

$$F = 3\,F + 2\Delta F = 3\cdot 6 + 2\cdot 1 = 20 \text{ МГц}.$$

Промежутки $\Delta F = 1$ МГц между цветными сигналами необходимы для их разделения в месте приема.

Несмотря на свою широкополосность, именно система с одновременной передачей цветов была принята за основу при построении совместимых систем телевидения. Все усилия были направлены на то, чтобы «уложить» полосу частот цветной системы в полосу частот черно-белого телевидения.

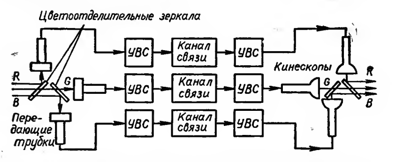


Рис. 24. Телевизионная система с одновременной передачей цветов.

На первый взгляд это кажется невозможным, так как каждый из трех сигналов: R, G, B — занимает полосу в 6 МГц. Однако, исследуя спектр телевизионного сигнала, специалисты обнаружили, что он имеет не непрерывный, а дискретный характер. Такое построение спектра позволило «уплотнить» его, т. е. совместить в нем два сигнала — сигнал яркости Y черно-белого изображения (в нем смешаны в определенной пропорции сигналы R, G, B) и необходимые для цветного изображения сигналы «цветовой информации» — разностные сигналы $R-Y$ и $B-Y$.

Известно, что сигнал яркости Y состоит из 59% зеленого цвета, 30% красного цвета и 11% синего цвета. Если этот сигнал подать на цветной кинескоп, то на экране будет черно-белое изображение.

Имея в распоряжении сигналы Y, $R-Y$ и $B-Y$, можно (после соответствующих преобразований) получить сигналы R, G, B. Передача третьего разностного сигнала ($G-Y$) не является необходимой, так как вся информация о зеленом цвете содержится в сигнале яркости Y.

«Уплотнение» спектра телевизионного сигнала удалось осуществить путем ограничения полосы частот разностных сигналов $R-Y$ и $B-Y$.

Рассмотрим упрощенную структурную систему цветного телевидения СЕКАМ (рис. 25). Три передающих трубки и три видеоусилителя образуют сигналы E_R, E_G, E_B, которые с помощью специальной кодирующей матрицы преобразуются в сигналы E_Y, E_{R-Y} и E_{B-Y}. Последние два сигнала поступают на электронный коммутатор, который поочередно подает на вход модулятора сигналы $R-Y$ и $B-Y$.

Частотно-модулированный сигнал цветности в блоке сложения смешивается с сигналом яркости Y и сигналом синхронизации. На выходе блока сложения образуется полный видеосигнал цветного телевидения.

В приемной части системы (рис. 25, *б*) после видеоусилителя сигналы E_{R-Y} и E_{B-Y} подаются на линию задержки, где происходит задержка сигнала на время одной строки, и на электронный коммутатор. Благодаря синхронной работе коммутаторов приемной и передающей частей и наличию линии задержки к декодирующей матрице, в любой момент времени подводятся одновременно два сигнала E_{R-Y} и E_{B-Y}.

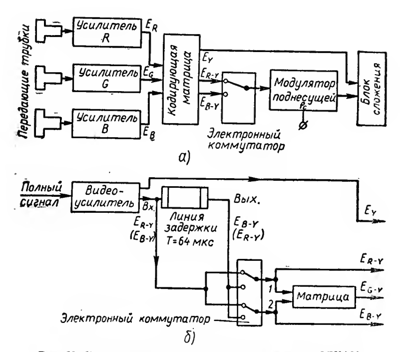


Рис. 25. Упрощенная структурная схема системы СЕКАМ: *а* — передающая часть; *б* — приемная часть.

В декодирующей матрице по известным значениям сигналов E_{R-Y} и E_{B-Y} определяется третий цветоразностный сигнал E_{G-Y}. Далее цветоразностные сигналы и яркостный сигнал E_Y поступают на цветной кинескоп.

В цветном кинескопе экран покрыт не сплошным слоем люминофора, а точечной мозаикой. Эта мозаика состоит из трех люминофоров и сгруппирована в виде треугольников. Каждая точка треугольника светится только одним цветом: красным, синим или зеленым. Расстояние между центрами соседних точек составляет примерно три десятых миллиметра. Если взять телевизионную трубку размером 59 см по диагонали, то таких светящихся точек, уложенных в строгом порядке, будет около 2 миллионов.

Чтобы получить цветное изображение, необходимо засветить каждую точку экрана кинескопа с помощью

электронно-оптических систем, дающих три разных «цветовых» сигнала. Это достигается с помощью специального диска с отверстиями — теневой маски. В диске сделаны отверстия, каждое из которых приходится точно против центра треугольника. Таким образом, электронный луч электронно-оптической системы цветного кинескопа попадает только в «свою» точку: красную, синюю или зеленую. Для того чтобы разноцветные лучи не разошлись и попадали каждый в свою точку, на горловине кинескопа установлены корректирующие магниты. С их помощью можно не только регулировать перемещение электронных лучей в любом направлении, но и осуществлять их динамическое сведение строго в такт с работой отклоняющей системы.

Мы в общих чертах рассмотрели, как создается цветное изображение на экране телевизора. С каждым годом улучшаются цветные кинескопы и телевизоры, качество изображения, их конструкция и схемное решение. Все более широкое распространение получают полупроводниковые приборы и интегральные схемы. Судя по тому, какими темпами внедряются лучшие достижения науки и техники в цветное телевидение, можно ожидать, что в самом ближайшем будущем оно станет цветным повсеместно.

ЗАПИСЬ И ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Го-о-о-л!!! Десятки тысяч болельщиков, сидящих на трибунах стадиона, с восторгом приветствуют это радостное для них событие. Но еще большее количество людей в этот момент внимательно прильнули к экранам телевизоров, где в замедленном темпе показывают повторение — кульминацию матча, как был забит мяч в ворота противника...

В телевизионном вещании применение магнитной записи телевизионных сигналов или сокращенно магнитной видеозаписи началось в середине 50-х годов. Она внесла существенные изменения в технологию подготовки и выпуска телевизионных программ. Предварительная их запись на магнитную ленту позволила заблаговременно подготавливать передачи, улучшила использование студийных аппаратных комплексов телецентров, повысила качество самих программ.

Магнитный способ записи изображений схож с записью звуковых сигналов при помощи магнитофона. Но техническое осуществление видеозаписи значительно сложнее, так как телевизионный сигнал содержит больший объем информации, чем звуковой.

В развитии техники магнитной видеозаписи можно выделить несколько этапов. Каждый из них характерен не только уровнем развития технических средств, но и местом магнитной видеозаписи в общей технологической схеме телевизионного вещания.

Первые видеомагнитофоны предназначались для записи готовых программ с последующим воспроизведением их на том же аппарате и тем же блоком головок, которым производилась запись. Это исключало возможность монтажа программ, записанных на разных аппаратах, обмена программами и даже их длительное хранение, так как вместе с лентой необходимо было хранить и блок головок.

Следующим очень важным этапом, определившим широкое использование магнитной видеозаписи в телевидении, стало решение задачи взаимозаменяемости. С учетом международных рекомендаций были стандартизированы все параметры однотипных видеомагнитофонов. После этого стал возможен обмен видеомагнитофильмами между телестудиями, длительное их хранение, монтаж видеомагнитофильмов из отдельных фрагментов, записанных в различное время на разных видеомагнитофонах.

Крупным шагом в развитии техники магнитной видеозаписи является, несомненно, улучшение качественных показателей видеомагнитофонов и магнитной ленты, создание видеомагнитофонов для записи передач в цветном изображении. Тем самым была решена весьма сложная задача — подготовка программ в цвете оперативным и экономичным способом, которую средствами только кино практически реализовать было невозможно.

В настоящее время технические средства магнитной видеозаписи представляют собой комплекс разнообразной аппаратуры, с помощью которой осуществляется весь технологический процесс, начиная от записи программы и кончая выходом ее «в эфир».

В самом крупном в нашей стране телевизионном центре — Общесоюзном телевизионном центре имени 50-летия Октябрьской революции основные средства ма-

гнитной видеозаписи объединены в блоке видеозаписи. Он содержит несколько аппаратных записи-воспроизведения и специализированные аппаратные для монтажа видеофонограмм и их тиражирования.

Программы и передачи, созданные вне студии, записывают с помощью передвижных станций магнитной видеозаписи. А для оперативных репортажей используются переносные видеомагнитофоны вместе с портативной телевизионной камерой.

Как известно, в кинематографии кинопленку после съемки подвергают сложной, особенно для цветных фильмов, химической обработке. При магнитной же видеозаписи изображение можно воспроизводить сразу после записи, независимо от того, цветное оно или черно-белое. На кинопленке фиксируют видимое изображение объекта, а на магнитной ленте записывается электрический сигнал, отражающий последовательное распределение яркости этого изображения, что удобно для телевидения. Качество воспроизведения видеозаписи не уступает изображению, получаемому с 35-миллиметровой кинопленки, а в некоторых отношениях даже превосходит его.

Магнитные ленты для видеозаписи изготавливают на высокопрочной основе из полиэтилен-терефталата (лавсана), отличающейся повышенной прочностью на разрыв и износостойкость.

Подготовка телевизионных программ связана, как правило, с выполнением монтажных операций, в процессе которых отдельные фрагменты, записанные в разное время или в произвольной последовательности, соединяют в одну общую программу. На смену механическому монтажу, при котором ленту разрезали и склеивали, пришел электронный монтаж. Общую программу при помощи «электронной склейки» монтируют из отдельных фрагментов, записанных на одной или разных лентах, путем перезаписи их в необходимой последовательности на одну ленту.

Магнитная видеозапись находит применение не только в телевизионном вещании, но и в прикладном телевидении. В этих случаях ее используют для регистрации и накопления информации с целью дальнейшей расшифровки или анализа ее. Так, запись рентгеновского изображения на магнитную ленту дает возможность врачу провести подробные исследования рентгенограммы, не под-

вергая длительному воздействию излучения и себя и пациента. В спорте видеомагнитофоны используют не только в процессе тренировок, но и для фиксации стартов и финишей. Применяют видеомагнитофоны и в промышленности, например для регистрации различных технологических процессов, используют их в научных исследованиях, в образовании, кинематографии и множестве других областей человеческой деятельности.

В последние годы появились видеомагнитофоны и для массового потребителя.

Самой сложной и наиболее ответственной частью любого видеомагнитофона, в том числе и бытового, является лентопротяжный механизм. От конструкции и точности его выполнения зависят такие существенно важные характеристики видеомагнитофона, как геометрические искажения и стабильность воспроизводимого изображения, а также возможность воспроизведения видеофонограммы на любом однотипном видеомагнитофоне.

Лентопротяжный механизм бытового видеомагнитофона должен легко заряжаться лентой, так как эта операция обычно вызывает затруднения у неопытного потребителя. Наиболее полно отвечают этим требованиям лентопротяжные механизмы кассетных видеомагнитофонов, в которых зарядка лентой предельно проста. Принцип их аналогичен кассетным магнитофонам, которые зарекомендовали себя с лучшей стороны и получили широкое распространение.

Видеомагнитофон, соединенный с телевизионным приемником, может служить для записи телевизионных программ, которые зритель может повторять в удобное для себя время. В комплекте с компактной телевизионной камерой он может с успехом заменить кинокамеру со всеми преимуществами магнитного способа записи.

Бытовые видеомагнитофоны могут также воспроизводить готовые программы, тиражируемые централизованным путем. Эти программы могут быть самого различного содержания. Но наиболее вероятно, что это будут учебные программы, лекции, беседы, уроки, лабораторные занятия в помощь школьникам, студентам, самостоятельно изучающим различные дисциплины, а также программы для профессионально-технического образования.

Учебные программы будут не только дополнять и расширять возможности учебного телевидения, но в некото-

рых случаях и заменять его. Они имеют преимущества перед последним в том отношении, что их можно воспроизводить в любое удобное для зрителя время и повторять сколько угодно для лучшего усвоения материала.

ТЕЛЕВИДЕНИЕ БУДУЩЕГО

Одно из самых уязвимых мест в современном телевизоре — телевизионная трубка. Она имеет низкую надежность в условиях ударных нагрузок, вибрации, высоких температур. Кроме того, она, в основном, определяет как габариты, так и мощность, необходимую для управления электронным лучом.

В настоящее время ученые многих стран занимаются разработкой телевизоров без вакуумной трубки. В таком телевизоре экраном будет служить тонкая пластинка, состоящая из отдельных светящихся элементов, которые надо соответствующим образом переключать.

Какие же успехи достигнуты в этом направлении?

Несколько лет назад в Москве, на проспекте Калинина, появился гигантский экран, занимающий целую стену одного из зданий. Находясь за сотни метров, прохожие могли не только читать различного рода надписи, но и смотреть цветные кинофильмы. Этот экран сплошь усеян обычными электрическими лампочками разного цвета, и его вполне можно назвать плоским. Изображение на таком экране создается с помощью переключения последовательно загорающихся ламп. А так как каждый элемент изображения должен светиться по-разному, то схема управления лампочками занимает гораздо больший объем, чем сам экран. Естественно, такой экран телевизора не пригоден для бытовых целей. Ведь размеры даже самых миниатюрных электрических лампочек велики, и поэтому они не позволяют получить изображение с высокой четкостью. Однако для передачи рекламы он оказался весьма полезным. Не случайно, в крупных городах нашей страны его можно увидеть на улицах и площадях.

Существуют и другие варианты создания изображения. Всем хорошо известны светящиеся неоновые трубки рекламы (трубки могут быть наполнены и другим инертным газом). Для получения свечения в такой трубке требуется приложить электрическое напряжение выше не-

которого порогового значения. Используя это явление, можно получить телевизионное изображение путем установления различных токов в газоразрядных элементах плоского экрана. Большое количество газоразрядных элементов, расположенных в одной плоскости, позволяют создать и цветное изображение. Для этого подбирают газы с определенной цветностью свечения, например красной, синей и зеленой. Экран такого телевизора содержит группы элементов, состоящих из трех шин. Каждый столбец из группы заполняется газом, создающим свечение одного из трех цветов. Переключая соответствующим образом элементы группы, можно получить изображение, которое при рассмотрении с достаточно большого расстояния создает в сознании зрителя требуемое цветоощущение.

Световыми элементами могут служить и светодиоды, излучающие свет при пропускании через них электрического тока.

Телевизионное изображение можно создать также на экране, состоящем не из излучающих элементов, а из ячеек с регулируемой прозрачностью.

Несмотря на успехи, достигнутые в создании твердотельных экранов, эта проблема в настоящее время еще не решена. Имеются серьезные трудности как в создании наиболее простой конструкции плоского экрана, так и в реализации способов подключения светящихся элементов. Однако специалисты полагают, что плоский экран в недалеком будущем станет одним из обязательных узлов телевизора.

Изображения, которые мы видим на экранах цветных телевизоров, несмотря на богатые краски, пока еще отличаются от реальных, и прежде всего отсутствием объемности.

Как мы уже знаем, изображения, наблюдаемые при восстановлении волнового фронта с голограммы, поражают своей реальностью. Не случайно, специалисты видят будущее телевидения в использовании методов голографии. Тогда мы сможем смотреть телевизионные передачи, которые приобретут объемность. Правда, надо сразу же сказать, что сегодняшняя техника делает в этом направлении лишь самые первые шаги.

Каким же будет голографический телевизионный фильм? Этот вопрос был задан журналистами одному из

основоположников голографии — лауреату Ленинской премии Юрию Николаевичу Денисюку. Вот что он ответил:

«Первое предположительное отличие голографического фильма от обычного заключается в том, что он будет непосредственно воздействовать на восприятие зрителя. Поясню. Сегодня зритель — как бы сильно он ни был увлечен тем, что происходит на экране, — хорошо чувствует свое положение в зале по отношению к экрану. Собственно, само слово «зритель» точно определяет ту опосредованность восприятия, которая создается пространственной изолированностью экрана. Человек, который придет смотреть голографический фильм, будет ощущать себя не столько зрителем, сколько участником фильма. Все, что он увидит, будет происходить в окружающем его пространстве, насыщенном трехмерными, объемными изображениями. Можно предположить, что по окончании голографического фильма у зрителя останется ощущение прожитого, а не просмотренного».

Идея создания голографического телевидения весьма заманчива. Однако на пути ее осуществления стоят большие технические проблемы.

В настоящее время специалисты смогли осуществить голографическую передачу по телевизионному каналу только отдельных неподвижных изображений. Решить же проблему записи динамических голограмм пока не удалось. Правда, не надо забывать, что реализация принципов голографии в телевидении только начинается. И сегодня трудно предугадать все то, что она сможет дать науке и технике в недалеком будущем.

Глава 10
РАДИОЭЛЕКТРОНИКА ШТУРМУЕТ КОСМОС

ПРОФЕССИИ СПУТНИКА

Прошло немногим более 20 лет с того дня, когда 4 октября 1957 г. позывные первого в мире советского искусственного спутника Земли возвестили о начале новой эры в покорении неизведанного космического пространства. От эпохи мечтаний и фантазий человечество пришло к воплощению их в жизнь. Непосредственное изучение космоса и использование результатов этих исследований для нужд человека вошло в нашу повседневную практику.

В 1957 г. на околоземных орбитах находилось лишь два спутника — только два! К концу десятого года космической эры общее число запусков достигло 617... Сейчас количество спутников только серии «Космос» превысило тысячу. Общее же число космических аппаратов, посланных в космос различными странами, исчисляется уже тысячами.

Теперь, когда прошли первые десятилетия космической эры, можно сказать, что это время было величайшей эпопеей человеческого дерзновения, небывалой по размаху и неповторимости по своим научно-техническим результатам. Попробуем кратко их перечислить.

Первый искусственный спутник Земли, первый полет к Луне, передача на Землю фотографий ее невидимой стороны, мягкая посадка автоматической станции на поверхности Луны, искусственные спутники Луны, полеты автоматических станций к Венере и Марсу, мягкая посадка аппаратов на Венеру и передача уникальных фотографий места посадки, искусственные спутники Марса и Венеры, пролеты космических станций около Юпитера, первый космический полет человека вокруг Земли, вы-

ход человека в открытый космос, стыковка пилотируемых кораблей, создание и работа пилотируемых орбитальных станций, облет человеком Луны и посадка затем на ее поверхность, доставка лунного грунта на Землю автоматическими аппаратами, создание самоходного аппарата «Луноход» для передвижения по поверхности Луны, совместный полет советских и американских космонавтов на кораблях «Союз» и «Аполлон», полет первого международного экипажа на борту научно-исследовательского комплекса «Салют-6»—«Союз-27»—«Союз-28»...

А зачем нужен человеку космос? Попытаемся кратко ответить на этот вопрос.

Первые советские искусственные спутники Земли позволили сделать ряд важных открытий. Впервые были получены данные по исследованию плотности, давления и состава верхних слоев атмосферы. Изучено распределение электронов и положительных ионов в ионосфере Земли по высоте, проведены прямые измерения магнитного поля Земли, выявлены важные сведения о внутреннем радиационном поясе Земли. Открыт внешний радиационный пояс Земли, получены важные данные о метеорной опасности.

Освоение ближайшей к Земле зоны космического пространства позволило коренным образом усовершенствовать и упростить решение вопросов связи на дальние расстояния. Только телевизионным вещанием через искусственные спутники Земли сегодня охвачено более 80% населения нашей страны. Космическая метеорология значительно расширила возможности наблюдений за атмосферой в масштабе планеты.

На борту спутников проводили испытания разнообразных технических систем, и самое главное — системы жизнеобеспечения космонавтов. Эксперименты по автоматической стыковке космических аппаратов на орбите, выполненные на двух парах спутников, открыли широкие перспективы для пилотируемых полетов и создания сложнейших космических систем, в первую очередь многоцелевых орбитальных станций...

За последние 40 лет человечество израсходовало угля и нефти больше, чем за всю предыдущую историю. Причем темпы потребления многих полезных ископаемых неуклонно растут, а стало быть, все быстрее истощаются запасы в уже освоенных месторождениях. Нужно искать

новые подземные кладовые. Использование самолетов для аэрофотосъемки и разведки недр геофизическими методами, конечно, ускорило темпы работы геологов. С появлением же спутников эти работы проводятся значительно быстрее и эффективнее.

Другой пример. Определение размеров земного шара, расстояний между отдельными географическими точками Земли всегда было очень трудоемким и кропотливым делом. С запуском спутников геодезисты получили новый, безотказный и очень удобный в обращении «измерительный инструмент». Ведь скорость спутника можно определить с большой точностью. Зная время его полета от одного пункта до другого, легко и точно определяют расстояние между ними. «Небесный землемер», вращаясь вокруг Земли, при каждом обороте пролетает над новыми географическими точками. Буквально за несколько дней спутник способен обмерить земной шар «вдоль и поперек». Так, советские космонавты П. Климук и В. Севастьянов с борта «Салют-4» отсняли 5,5 млн. км^2 территории нашей страны. Экономический эффект только этой их работы исчисляется в 50 млн. рублей.

Не менее важную работу выполняют спутники в учете земельных угодий, пригодных для сельскохозяйственного использования. Облетая планету, спутники сообщают на Землю об очагах лесных пожаров в отдаленных районах, о процессах эрозии почвы, о состоянии посевов.

С помощью аппаратуры, установленной на спутнике, можно непрерывно оценивать состояние водных ресурсов, следить за изменениями влажности почвы, собирать сведения о состоянии снежного покрова на обширных территориях. Ценную информацию дает исследование собственного теплового и радиоизлучения отдельных участков земной поверхности, что очень важно при оценке состояния верхнего плодородного слоя почвы.

Общеизвестно значение погодных процессов в жизни человека. Убытки от стихийных бедствий, связанных с непогодой, огромны. Но даже если не говорить о таких катастрофических явлениях, как ураганы, тайфуны, наводнения, засухи, то и другие «мелкие неприятности» в виде неожиданных дождей, заморозков, снегопадов тем не менее часто служат существенной помехой в хозяйственной деятельности человека. Вот почему потребность в надежном и по возможности достаточно долгосрочном

прогнозировании погоды ощущается с каждым годом все значительнее.

Чтобы решить эту гигантски сложную задачу, нужно постоянно, систематически производить метеорологические наблюдения в масштабе всей нашей планеты. Ведь, например, циклон, возникший в просторах Атлантики, через несколько дней окажется на территории нашей страны. Следовательно, зная сегодня «атмосферную кухню» океана, можно с большой точностью сказать, какая будет погода послезавтра в Ленинграде, Москве.

А для недельного прогноза нужно знать состояние погоды на земном шаре. Единственный реальный способ получить ее — использовать сведения с метеорологических спутников Земли.

Огромный комплекс научных исследований по изучению физических свойств атмосферы Земли, околоземного и межпланетного пространства, других планет Солнечной системы осуществляют с помощью необитаемых и обитаемых космических аппаратов. Сегодня сотни спутников работают в космосе. Они осуществляют телефонную и телеграфную связь, передают телевизионные передачи в самые отдаленные уголки нашей планеты. Специальные навигационные спутники надежно обеспечивают точность курсов кораблей и самолетов. Спутники позволили по-новому проводить исследование в области связи, океанологии, геологии, географии, почвоведения, лесоводства, геодезии, метеорологии, физики, астрономии. И это далеко не полный перечень специальностей космических спутников.

Итак, сколько же профессий у спутников? Пытаясь ответить на этот вопрос, многие, вероятно, начнут загибать пальцы на руках. Но, оказывается, профессий у космических тружеников уже тысяча, а может быть, даже и больше. Во всяком случае, ученые-космологи утверждают, что многие земные профессии стали космическими...

ШТУРМ ЛУНЫ

В космосе, как, очевидно, ни в какой другой сфере, автоматы первые прокладывают дорогу людям. Они ведут разведку, приносят данные о космическом пространстве, и только затем наступает очередь человека. И еще долгие годы автоматические станции будут единственным

средством непосредственного изучения дальнего космоса и планет...

С незапамятных времен Луна была для землян объектом постоянного изучения и исследования. И это не случайно. Ведь изучение естественного спутника Земли открывает перед нами новые возможности не только в познании космоса, но и в познании нашей собственной планеты, знания о которой наряду с общенаучными имеют также большое практическое значение. Трудно сказать, как бы развивались наши представления о Луне в дальнейшем, если бы не были предприняты реальные шаги для изучения ее с помощью космических аппаратов.

Эра изучения Луны началась в 1959 г. благодаря запускам советских космических ракет. Впервые была достигнута вторая космическая скорость, равная 11,2 км/с, что позволило выйти за пределы земного притяжения и впервые осуществить перелет на другое небесное тело.

С тех пор мы получили очень много важной информации о нашем естественном спутнике. Теперь нам известно, что на Луне практически нет атмосферы и магнитного поля, мы знаем физико-механические характеристики и химический состав лунного грунта в различных ее районах.

Немногим более чем через год после запуска первого искусственного спутника Земли начался этап полетов космических аппаратов к Луне. 2 января 1959 г. с Земли взяла старт советская автоматическая станция «Луна-1» массой 1472 кг. Через 34 ч она промчалась на расстоянии около 7,5 тыс. км от поверхности Луны, вышла на орбиту искусственного спутника Солнца и стала первой искусственной планетой Солнечной системы.

Утром 12 сентября 1959 г. советскими учеными была отправлена вторая станция — «Луна-2». Она доставила на поверхность Луны три вымпела с изображением герба Советского Союза и надписью: «Союз Советских Социалистических Республик. Сентябрь, 1959 год».

Не прошло и месяца, как 4 октября 1959 г. к Луне стартовала новая автоматическая станция — «Луна-3». По сложному пути, похожему на полет гигантского бумеранга, она облетела Луну и сфотографировала ее невидимую с Земли сторону. Приблизившись к нашей планете, станция передала снимки по радиотелевизионному

каналу. При этом радиопередача сигналов изображений производилась с расстояния около 400 000 км.

Для уверенного приема радиосигналов со станции на Земле были установлены очень чувствительная приемная радиоаппаратура и антенны направленного действия.

Успешное фотографирование обратной стороны Луны было признано мировой общественностью величайшим научно-техническим достижением. По праву первооткрывателей советские ученые дали названия морям, кратерам, горам и другим объектам невидимой стороны Луны. Так был создан «Атлас обратной стороны Луны» и первый лунный глобус.

Луне пришлось «привыкать» к земным посланцам — спутникам. Вслед за «Луной-3» последовали запуски других автоматических станций. С их помощью был завершен этап экспериментальной отработки бортовых систем астроориентации, управления, радиоаппаратуры и системы мягкой посадки.

И вот 3 февраля 1966 г. впервые была осуществлена мягкая посадка советской автоматической станции «Луна-9» на поверхность Луны. Трое суток станция осуществляла телевизионный репортаж с небесного тела, позволивший землянам наблюдать лунный ландшафт с расстояния 60—70 см.

За эти несколько суток ученые увидели неизмеримо больше, чем за те столетия, когда они изучали Луну через окуляры телескопов.

Последующие полеты космических станций типа «Луна» выявили многие особенности ее строения. Так, в сентябре 1970 г. впервые в истории космонавтики автоматическая станция «Луна-16» совершила рейс Земля—Луна—Земля, доставив нам образцы лунной породы. Конечно, этому предшествовали многочисленные испытания ее систем, узлов и радиоэлектронного оборудования. А старт станции с Луны предварительно моделировался на электронных машинах и в вакуумных камерах.

Наконец, 17 ноября 1970 г. автоматическая станция «Луна-17» доставила на Луну самоходный аппарат «Луноход-1» размером с автомобиль. «Луноход-1» наездил по поверхности Луны более 10 км, проведя при этом широкий комплекс научных исследований и технических экспериментов. Все данные с «Лунохода-1» в сочетании с телевизионным изображением лунной поверхности были

переданы на Землю с расстояния 400 тыс. км с помощью радиоэлектронной аппаратуры.

Мир еще был полон волнующих впечатлений от путешествия лунной машины, как 16 января 1973 г. автоматическая станция «Луна-21» доставила в кратер Лемонье на восточной окраине Моря Ясности «Луноход-2». За пять лунных ночей «Луноход-2» прошел 37 км, передал на Землю около 100 тысяч телевизионных снимков лунной поверхности.

Экипаж лунохода, находящийся на Земле, управлял его движением с расстояния около 400 тыс. км.

Разве это не чудо электроники и автоматики — самоходный аппарат на Луне?

Корпус лунохода был похож на котел с огромной, медленно открывающейся крышкой, выполняющей двойную функцию. Во время лунной ночи крышка закрывала радиатор и препятствовала излучению тепла из приборного отсека. Днем же она открывалась и использовалась как панель солнечной батареи, предназначенной для зарядки аккумуляторов лунохода.

В приборном отсеке размещалась бортовая аппаратура, необходимая для управления луноходом и связи его с наземными радиокомплексами. Программно-временное устройство, телеметрические системы, радиопередатчики и приемники, система терморегулирования, телевизионные камеры, антенны, источники питания, научная аппаратура — вот далеко не полный перечень аппаратуры, установленной на луноходе.

Особый интерес вызвали эксперименты по лазерной пеленгации и лазерной локации. Для этой цели на луноходе был установлен фотоприемник «Рубин» и специальные оптические отражатели.

Лазерная пеленгация использовалась для определения координат лунохода с высокой степенью точности. На Земле, в фокусе телескопов, расположенных в различных пунктах Советского Союза, были установлены мощные лазеры. Импульс света направлялся в район нахождения лунохода. В тех случаях, когда оптический сигнал попадал в фотоприемник «Рубин», происходило преобразование световой энергии в электрическую и радиосигнал о попадании луча передавался на Землю. Проведенные измерения показали высокую точность оптической пеленгации.

Лазерная локация позволила точно измерить расстояние до Луны и уточнить ее орбиту.

Логическим продолжением изучения Луны с помощью автоматических станций был запуск 9 августа 1976 г. станции «Луна-24», которая 18 августа совершила посадку в Море Кризисов. На ней было установлено грунтозаборное устройство нового типа, позволявшее взять пробы грунта с сохранением структуры образца и всех особенностей его слоистости. Общая глубина бурения при этом составляла 2,25 м.

Через несколько дней образец такого лунного грунта был благополучно доставлен на Землю.

Итак, многие исследования производились автоматами непосредственно на Луне так же, как и в земных лабораториях. Полеты автоматических станций к Луне подготовили почву для осуществления запусков научных станций и в более отдаленные районы нашей Солнечной системы.

ВЕНЕРА РАСКРЫВАЕТ ТАЙНЫ

Загадочная планета Венера. Она видна на небе как самая яркая звезда утром (утренняя звезда) на Востоке или вечером на Западе (вечерняя звезда). Это вторая по порядку от Солнца большая планета Солнечной системы.

Наука знала о Венере не так много. Галилей, например, открыл фазы Венеры, подобные лунным, а Ломоносов в 1761 г. обнаружил, что она имеет атмосферу. Последующие два столетия мало что добавили к этим сведениям. Дело в том, что Венера упорно «скрывала от нас свое лицо» под слоем белых непрозрачных облаков. Поэтому вплоть до 40-х годов нашего столетия существовало убеждение, что она обладает природными условиями, необходимыми для существования различных форм жизни.

Первые важные сведения о реальных физических условиях на поверхности в нижних слоях атмосферы Венеры были получены благодаря радиоастрономическим и радиолокационным наблюдениям. В 1956 г. в результате исследований, проведенных советскими и американскими учеными, удалось измерить скорость суточного вращения Венеры. Оказалось, что она совершает один оборот вокруг Солнца приблизительно за 225 земных суток. Были определены достаточно точно и размеры Венеры: ее эк-

ваториальный диаметр равен 12 400 км, или 0,97 диаметра Земли, а масса — 0,81 массы Земли. Выяснены были и другие сведения о планете.

В дальнейшем изучение нашей ближайшей космической соседки поручили автоматическим межпланетным станциям. Первый выход на межпланетную трассу состоялся 12 февраля 1961 г., когда в нашей стране была запущена «Венера-1». Эта станция в июне 1961 г. прошла менее чем в 100 тыс. км от поверхности Венеры. Американский космический аппарат «Маринер-2» в декабре 1962 г. прошел на расстоянии 40 тыс. км от поверхности планеты. Была определена масса Венеры с точностью до 0,015%.

Новым выдающимся вкладом в изучение Венеры стал полет советской автоматической станции «Венера-4». 18 октября 1967 г. был осуществлен плавный спуск отделяемого от станции аппарата в атмосфере планеты. Впервые были проведены непосредственные измерения температуры, давления и плотности атмосферы Венеры, выявлен химический состав ее. Результаты этих измерений радиоэлектронная аппаратура передала на Землю. Оказалось, что атмосфера Венеры на 93—97% состоит из углекислого газа, есть немного водяного пара, угарного газа, а на больших высотах — незначительное количество кислорода. Температура на поверхности планеты составляет почти 500°С, атмосферное давление почти в 100 раз больше, чем на поверхности Земли.

Такие температура и давление делают невозможной жизнь на Венере в привычных для нас формах, хотя нельзя исключить возможность существования живых форм на основе кремний-органических соединений.

Дальнейшее изучение Венеры было предпринято с помощью автоматической станции «Венера-7». Основной целью ее запуска было осуществление посадки на планету, изучение атмосферы в процессе спуска, проведение измерений непосредственно на поверхности.

В результате полета станции «Венера-7» окончательно установили, что Венера имеет необычайно сильно разогретую атмосферу, плотность которой у поверхности примерно в 60 раз больше плотности атмосферы Земли. Оказалось, что на высоте от 20 до 40 км в венерианской атмосфере содержание воды составляет десятые доли процента. Есть основания предполагать, что такая концен-

трация сохраняется вплоть до безводной поверхности планеты. Это означает, что на Венере воды в 10 000 (!!) раз меньше, чем на Земле. Почему? Это еще предстоит выяснить.

Новый советский космический эксперимент, выполненный в 1975 г. с помощью станций «Венера-9» и «Венера-10», качественно отличался от предыдущих прежде всего своей сложностью и обширностью программы измерений. Во время снижения спускаемых аппаратов были измерены физико-химические параметры атмосферы, ее оптические свойства, освещенность.

Одна из основных задач полета — получение фототелевизионных изображений поверхности планеты в районе посадки. С поставленными задачами аппараты справились успешно: на Землю были переданы первые в истории мировой науки телевизионные изображения поверхности этой планеты. Камни на крутом склоне горы и плоская равнина со скальными плитами — такая панорама предстала перед телекамерой и нашим взором.

В конце декабря 1978 г., преодолев расстояние более 240 млн. км, на Венеру совершили посадку спускаемые аппараты автоматических межпланетных станций «Венера-11» и «Венера-12». И как обычно для советских станций, на их борту был запланирован новый комплекс исследований, развивающих предыдущие.

Во время спуска аппаратов с помощью научных приборов проводились эксперименты по тонкому химическому анализу состава атмосферы и облаков, изучению их оптических свойств, природы аэрозольных частиц облаков, высотных зависимостей температуры, давления и плотности атмосферы.

Ученые получили радиодонесение с подробными данными о наличии различных химических элементов в атмосфере Венеры, были зарегистрированы довольно частые электрические разряды в атмосфере, подтвердилось наличие перегрузок, действующих на аппарат, влетающий со второй космической скоростью в атмосферу планеты (они превысили единицу земного тяготения в 166 раз).

Итак, на Землю были получены радиодонесения и телеметрические сигналы, содержащие важные научные сведения, с планеты, расстояние до которой более 70 млн. км! И это тем более удивительно, что приборы ра-

ботали при температуре выше 460°C и давлении почти в 90 атм.

Новый полет к утренней звезде двух советских станций — «Венера-11» и «Венера-12» — еще один шаг в последовательном и планомерном изучении одной из самых загадочных планет Солнечной системы.

МАРС ДАЛЕКИЙ И БЛИЗКИЙ

Марс. Это четвертая по порядку от Солнца большая планета Солнечной системы. Время обращения вокруг Солнца составляет почти 687 суток (1,88 земного года). Наименьшее расстояние от Земли до Марса, которое бывает во время так называемых великих противостояний, не превышает 55 млн. км. Экваториальный диаметр Марса равен 6780 км, или 0,532 диаметра Земли, масса его составляет 0,107 массы Земли. Период вращения Марса вокруг оси — 24 ч 37 мин.

Если смотреть на Марс в телескоп, то можно увидеть диск красноватого цвета, на фоне которого отчетливо заметны бледно-темные линии различных очертаний. Их условно называют каналами, морями, заливами, оазисами. Вопрос об их природе пока еще окончательно не выяснен.

В последнее десятилетие, благодаря совершенствованию методов наземных оптических наблюдений, радиоастрономических, радиолокационных исследований и полетов космических аппаратов, ученые существенно продвинулись вперед в изучении Марса.

В конце 1971 г. две советские автоматические станции «Марс-2» и «Марс-3» были выведены на околомарсовые орбиты. При подлете к Марсу от станции «Марс-3» был отделен спускаемый аппарат, совершивший мягкую посадку на планету. Уже само осуществление мягкой посадки на Марс представляет собой решение крупнейшей научно-технической задачи.

С помощью этих искусственных спутников Марса был проведен ряд научных экспериментов, связанных как с изучением самой планеты, так и с измерениями параметров межпланетной среды, а также с исследованием радиоизлучения Солнца. Так, в результате измерений выяснено, что колебания температуры значительны: от +13 до −93°C, а в области северной полярной шапки до −110°C. Причем оказалось, что марсианские «моря»

(темные области) в среднем теплее, чем «континенты» — разница температур их составляет около 10°С.

Основу марсианской атмосферы составляет углекислый газ. Атмосферное давление у поверхности Марса почти в 200 раз меньше, чем на Земле.

В 1973 г. были запущены еще четыре автоматических межпланетных станций — «Марс-4, -5, -6 и -7», с помощью которых были получены интересные данные о рельефе поверхности Марса, температуре, теплопроводности, структуре и составе грунта, о химическом составе атмосферы. Огромную ценность для науки имеют снимки поверхности планеты, полученные с помощью межпланетных космических аппаратов.

* *
*

Накопленный опыт космических исследований Луны, Венеры, Марса и других планет показывает, что широкий круг научных задач можно решать прежде всего с помощью автоматов, обладающих высокой степенью автономности при перемещении по поверхности планет, способностью восприятия окружающей среды, ее анализа и принятия решений о дальнейших действиях в зависимости от обстановки. И здесь большая заслуга принадлежит радиоэлектронике.

Космические исследования планет — это непрерывное усложнение программ и задач полетов автоматических станций, это важнейший процесс рождения принципиально новых научных решений, идей, методов познания. Ведь достижения в космической науке и технике приобретают все большее и большее значение в повседневной жизни людей. И когда-нибудь об автоматических разведчиках космоса будут написаны многотомные труды. Наши внуки и правнуки будут читать и перелистывать их страницы, восхищаясь смелостью мысли сегодняшнего поколения. По-разному и на разных языках будет написана история о первых шагах освоения космоса, о первых полетах человека во Вселенную. Но короткое слово «спутник» навсегда сохранит русское звучание.

Впереди — много работы, новых открытий, славных побед. Штурм космоса продолжается!

ГОВОРИТ И ПОКАЗЫВАЕТ «ОРБИТА»

Это было совсем недавно. 23 апреля 1965 г. на экранах телевизоров, принимавших первую программу Центрального телевидения, впервые появился диктор телецентра Владивостока:

«Товарищи! Вы смотрите телевизионную передачу с берегов Тихого океана. В эфире — Владивосток!». Так впервые произошло практическое знакомство с космической телевизионной связью. После первых экспериментальных передач линия связи Москва—Владивосток, «проложенная» через космос, вступила в эксплуатацию. По ней начался регулярный обмен телевизионными программами, телефонными разговорами, телеграфными и фототелеграфными сообщениями.

Сегодня космическая связь заняла уже прочные позиции среди других видов связи, стала необходимой миллионам людей.

В космических системах связи искусственные спутники Земли выполняют роль ретрансляторов. В самом общем виде передача информации по системе спутниковой связи осуществляется следующим образом. На приемо-передающую станцию по соединительным линиям связи поступает информация от телецентров, междугородных телефонных станций, типографий, радиостудий и т. д., которая с помощью радиосигналов передается на спутник связи. На спутнике установлен приемник, который усиливает и преобразует принятые сигналы и через бортовой передатчик ретранслирует их на Землю. Их улавливают чуткие антенны земных приемных станций и по кабельным или радиорелейным линиям распределяют по абонентам.

Многообразны виды использования космической связи. Но особенно важное значение имеет она для развития телевидения и передачи на далекие расстояния телевизионных программ. Дело в том, что в телевидении используются ультракороткие волны, а они распространяются в пределах прямой видимости. Поэтому для того, чтобы можно было принимать программы Центрального телевидения в отдаленных районах нашей страны, приходится строить радиорелейные и кабельные линии связи. Но для такой огромной страны, как наша, эта работа весьма трудоемкая и требует значительных затрат.

Например, для радиорелейной линии связи Москва—Владивосток нужно было бы построить свыше 150 наземных ретрансляционных станций или проложить через реки, горы, тайгу и другие препятствия несколько тысяч километров дорогостоящего кабеля да еще оборудовать сотни усилительных пунктов. Кроме этого, пришлось бы выполнить еще многочисленные ответвления к различным населенным пунктам. Поэтому было решено использовать в качестве ретрансляторов искусственные спутники Земли.

Можно, конечно, было пойти и другим путем — увеличить высоту антенн ретрансляционных станций. Именно так поступили специалисты некоторых стран Западной Европы: они установили антенны на вершинах гор. Однако, как показали расчеты, при увеличении высоты антенны даже в 500 раз дальность приема телепередач возрастает всего лишь в 10 раз. Понятно, что возводить антенны таких фантастических размеров не имеет смысла.

Высота, на которой спутник обращается вокруг Земли, определяет площадь той части земной поверхности, где он может быть виден. Так, если спутник вывести на орбиту, лежащую в плоскости экватора с высотой около 36 тыс. км, то он будет виден с площади, равной почти половине земной поверхности. Это позволило бы создать линию дальней радиосвязи протяженностью в несколько тысяч километров, причем с единственной ретрансляционной станцией.

Сколько же надо иметь спутников, чтобы обеспечить надежную связь в пределах земного шара? Специалисты подсчитали, что даже один спутник «Молния-1», выведенный на эллиптическую орбиту с апогеем (наивысшая точка удаления от поверхности Земли) около 40 тыс. км над северным полушарием и периодом обращения 12 ч, способен обеспечить связь не только между любыми районами нашей страны, но и с большей частью земного шара. Правда, он не обеспечит круглосуточной связи. При такой орбите спутник связи, обращаясь вокруг Земли за 12 ч (т. е. совершая за сутки два оборота), каждый раз находится над территорией Советского Союза в течение нескольких часов. Это позволяет иметь длительные сеансы связи между Москвой и самыми отдаленными населенными пунктами нашей страны на Дальнем Востоке, Крайнем Севере, в Средней Азии. Если же использовать

три спутника, запущенных на такую орбиту с интервалом в 8 часов, то этим самым можно обеспечить непрерывную круглосуточную связь.

Ретрансляция через спутники Земли бывает пассивная и активная. При пассивной ретрансляции излучаемая антенной наземного передатчика электромагнитная энергия направляется к спутнику. Эта энергия прямо пропорциональна мощности передатчика и коэффициенту направленности антенны. Отраженная от спутника энергия принимается наземной аппаратурой. Для эффективного отражения радиоволн от спутника минимальные размеры его отражающей поверхности должны быть во много раз больше длины волны.

Пассивная ретрансляция обеспечивает высокую надежность и простоту конструкции из-за отсутствия на спутнике приемо-передающей аппаратуры, а также возможность одновременного и независимого приема сигналов от различных систем связи. Однако пассивная ретрансляция требует применения мощных наземных передатчиков, сложных следящих систем и чувствительных приемников (из-за сильного затухания отраженного от спутника сигнала) и, кроме того, большой отражающей поверхности антенны спутника.

Для системы связи с пассивной ретрансляцией можно использовать и естественный спутник Земли — Луну. Однако пропускная способность такой линии связи значительно ниже, чем при использовании искусственных спутников из-за значительного расстояния между Землей и Луной, а также вследствие многолучевого распространения радиоволн (объясняется это наличием неровностей лунной поверхности). Это приводит не только к замираниям сигнала, но и к искажению передаваемой информации. Немаловажен и тот факт, что радиосвязь можно поддерживать лишь между теми пунктами на поверхности Земли, для которых в данное время суток Луна находится над горизонтом. Поэтому линия связи с использованием Луны в качестве пассивного отражателя неэффективна. Более выгодно использовать естественный спутник Земли — Луну в качестве носителя активного ретранслятора.

Активная ретрансляция предусматривает установку на борту спутника широкополосного приемо-передатчика, который усиливает ретранслируемые сигналы, значи-

тельно снижая благодаря этому их общее затухание между наземными пунктами связи.

Созданный советскими учеными, инженерами и рабочими первый ретрансляционный спутник связи «Молния-1» был запущен 23 апреля 1965 г. Конструктивно спутник «Молния-1» состоит из цилиндрического герметичного корпуса с коническими днищами. Антенны автоматически ориентируются в нужном направлении следящим електроприводом. Питание бортовой аппаратуры осуществляется от кремниевых солнечных батарей и батарей химических источников тока. Передатчик имеет относительно большую мощность — 40 Вт, что позволило существенно уменьшить размеры антенн наземных пунктов и упростить их аппаратуру.

Радиоэлектронное оборудование спутника разнообразно. Здесь и ретрансляторы для передачи программ телевидения и дальней радиосвязи, и системы ориентации спутника, и системы корректировки орбиты. Вся информация поступает в бортовую електронно-вычислительную машину, которая не только управляет всей аппаратурой в процессе полета по заданной программе, но и обрабатывает данные, выявляет и устраняет ошибки.

Ретранслятор спутника работает по принципу линейного усиления радиосигналов земных станций, что позволяет одновременно и принимать сигналы с Земли, и без задержки передавать их обратно, предварительно усилив до необходимого уровня.

Важная особенность системы — возможность непрерывного контроля основных качественных показателей телевизионного тракта в процессе передачи программ. Для этого в посылаемые сигналы изображения вводят специальные контрольные импульсы, что позволяет постоянно располагать достоверной информацией о качестве работы телевизионного тракта.

При ретрансляции телевизионных передач телезритель не может принять их непосредственно на антенну своего телевизора, так как сигналы, поступающие на Землю со спутника, настолько слабы, что требуют предварительного усиления на станциях «Орбита». Вот почему в космических системах связи имеются сложнейшие наземные приемные и передающие комплексы, без которых осуществить радио- и телевизионную связь на трассе Земля—космос—Земля невозможно. Параболические

антенные системы станций имеют мощные поворотные устройства. С появлением спутника связи в зоне приема антенна станции начинает медленно поворачиваться, неотступно следуя за его движением. Улавливая поступающие со спутника и уже ослабленные сигналы, станция «Орбита» усиливает их и посылает на местный телецентр. Оттуда они снова поступают «в эфир» теперь уже для того, чтобы быть принятыми на антенны телевизоров.

Многочисленные приемные станции «Орбита» (их сеть выросла до восьми десятков), расположенные в различных пунктах Советского Союза, и спутники «Молния», «Радуга», «Экран» позволяют смотреть в самых отдаленных уголках нашей Родины праздничные репортажи с Красной площади, из Кремлевского Дворца съездов, спектакли столичных театров, наиболее интересные спортивные соревнования и многие другие передачи Центрального телевидения.

А возможен ли прием передач из космоса непосредственно на антенны серийных телевизоров? Для этого нужно решить следующие весьма сложные технические проблемы. Во-первых, надо значительно увеличить мощность радиопередатчика, установленного на спутнике, и, кроме того, использовать антенны с высоким коэффициентом направленности. Во-вторых, потребуется существенное изменение и усложнение конструкции приемной антенны и введение в схему телевизора специальных устройств для преобразования и усиления сигналов, поступающих непосредственно с космического спутника связи.

Ретрансляция через искусственные спутники Земли значительно расширила возможности телевидения и связи, сблизила страны и континенты. С помощью систем «Интервидение» и «Евровидение» мы следим за событиями, происходящими в мире.

Глава 11

ЭЛЕКТРОНЫ СЧИТАЮТ, УПРАВЛЯЮТ, ДУМАЮТ

ОТ ПОКОЛЕНИЯ К ПОКОЛЕНИЮ

Самым древним «счетным инструментом», который природа предоставила в распоряжение человека, была его собственная рука. По мере развития цивилизации люди учились считать, совершенствуя, обогащая и передавая из поколения в поколение свой опыт.

Вычисления производят устно, письменно или с помощью приспособлений и счетных инструментов. Средства инструментального счета в разные времена имели различные возможности и назывались по-разному: счетные доски, абаки, счетные инструменты, приспособления, приборы, машины и, наконец, электронно-вычислительные машины (ЭВМ).

Электронно-вычислительные машины, эти «усилители» умственной деятельности людей, пожалуй, одно из важнейших достижений нашего времени. Они все больше и больше входят в деятельность человека как верные помощники, освобождая его от сложных расчетов, от напряженного, часто однообразного труда. Они способны говорить, читать, играть, планировать, обучать и... Невозможно просто перечислить все возможности ЭВМ. В 1973 г. это попытались сделать сотрудники американского журнала «Компьютерс энд аутомейшн»: они насчитали свыше 2500 «профессий» ЭВМ!

А первая электронно-вычислительная машина ЭНИАК, предназначавшаяся для военных целей (расчета баллистических таблиц), появилась в 1945 г. Руководили созданием и постройкой «электронного цифрового интегратора и вычислителя» (сокращенно ЭНИАК) авторы проекта, американские ученые Д. Моучли и Д. Эккерт.

Колоссальные размеры первого поколения ЭВМ, сложность их охлаждающих систем, низкая надежность электронных ламп и реле, энергетическая «прожорливость», конечно, не могли удовлетворять растущим требованиям техники. Они особенно возросли в связи с бурным развитием ядерной и ракетной техники, запуском искусственных спутников и космических кораблей, автоматизацией многих технологических процессов и т. д.

Полупроводники. Именно благодаря им в середине 50-х годов появились, ЭВМ, в которых основными элементами были транзисторы. С их появлением началась жизнь второго поколения ЭВМ, обладающих значительно более высокой надежностью, чем ламповые, потребляющих меньше энергии и, что самое главное, имеющих более высокое быстродействие — десятки и сотни тысяч операций в секунду!

Дальнейшее увеличение быстродействия ЭВМ было связано с миниатюризацией конструктивных элементов машин — транзисторов, резисторов, конденсаторов, диодов. После долгих экспериментов и поисков в середине 60-х годов появились так называемые малые интегральные схемы (МИС), которые стали основой ЭВМ третьего поколения. В результате этого резко возросли быстродействие (сотни тысяч — миллионы операций в секунду) и надежность машин, а сами они заметно «похудели».

В начале 70-х годов совершенствование интегральной технологии привело к созданию средних интегральных схем (СИС). Каждая такая схема содержала уже десятки и сотни активных и пассивных элементов с необходимыми между ними соединениями. Соответственно размеры ЭВМ уменьшились, а их быстродействие увеличилось. Применение СИС в вычислительной технике привело к рождению четвертого поколения ЭВМ.

Появление больших интегральных схем (БИС) ознаменовало собой возникновение пятого поколения ЭВМ. Созданные образцы БИС содержат уже на одном монокристалле полупроводника несколько сотен и даже тысячи (рекорд приближается к 100 000) различных элементов. ЭВМ на таких схемах смогут решать более сложные задачи, значительно повысится их быстродействие и надежность работы.

С развитием и совершенствованием БИС, а также интеграции элементов существенно изменяются, конечно, и

сами ЭВМ. Эта эволюция может привести к тому, что метод их работы будет напоминать работу человеческого мозга. И если сегодня конструкторы и инженеры еще стремятся добиться полной надежности каждого элемента, то мозг человека использует принцип избыточности. Как только клетка выходит из строя или начинает работать неправильно, ее мгновенно заменяет другая. И это не сказывается на работе мозга. Вполне возможно, что в будущем, используя избыточное количество элементов, ЭВМ тоже станут работать именно так.

Успехи оптоэлектроники и голографии позволяют ученым строить самые оптимистические прогнозы относительно создания «световых вычислительных машин». Их «оживит» не электрический ток, а лучи света, которые «свяжут» ячейки ЭВМ между собой. А поскольку скорость света значительно выше скорости электронов, то и время переключения в ячейках таких ЭВМ будет измеряться в сотых и тысячных долях наносекунды! Кроме того, представляется реальным достижение емкости памяти запоминающего устройства, весьма близкой к возможностям человеческого мозга.

Наиболее перспективными в создании таких машин являются голографические системы памяти, которые по эффективности превосходят существующие устройства в сотни и тысячи раз. В настоящее время разработано несколько вариантов голографической памяти. В их основу положена фотопластинка, на которой записывается ряд голограмм, восстанавливаемых лучом лазера. К примеру, на фотопластинку размером 2,5×2,5×0,2 см можно записать около 300 тыс. изображений информативного материала, т. е. целый архив большого завода, учреждения или библиотеки. А в будущем, например, голография позволит всю информацию, которая хранится в Государственной библиотеке СССР им. В. И. Ленина, поместить в небольшой шкаф.

Но самое главное — произойдет резкое насыщение народного хозяйства электронно-вычислительной техникой, автоматическими электронными приборами. Причем громоздкие и дорогие вычислительные и управляющие машины заменят новые, более совершенные, портативные, надежные и дешевые. Они найдут самое широкое применение в промышленности, сельском хозяйстве, в учебном процессе, торговле и быту...

ИНФОРМАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ

Наш век — век стремительного развития научно-технической революции. Открытия и изобретения следуют одно за другим. Естественно, что растет и поток научно-технической информации (НТИ). Он нарастает почти лавинообразно. Только по точным, естественным и техническим наукам в мире ежегодно печатается свыше 4,5 миллиона статей, большое количество трудов научно-исследовательских учреждений, несколько сот тысяч отчетов о проведенных исследованиях и т. п. Одних описаний к патентам и авторским свидетельствам публикуется более 300 тысяч! Общее число описаний патентного фонда мира превысило 12 миллионов, а количество книг превысило уже 30 миллионов названий. К тому же надо учитывать, что ежегодный прирост фонда НТИ составляет в среднем 5—8%.

Навсегда в прошлое ушло время, когда ученый мог просматривать почти все печатные работы по своему профилю и быть уверенным, что он «не изобретает велосипед». Сейчас это, конечно, невозможно. В результате происходит дублирование идей, разработок. Так, по некоторым данным, только в США на неоправданное дублирование расходуется более 10% средств, выделяемых ежегодно в стране на научно-исследовательскую и опытно-конструкторскую работу.

Академик Л. А. Арцимович однажды остроумно заметил, что в 1900 г. всех известных физиков России можно было бы усадить на одном диване. В 1913 г. в стране насчитывалось всего 11 600 научных работников, а за годы Советской власти эта цифра возросла более чем в 100 раз! Не секрет, что много рабочего времени они тратят на поиск и обработку информации, составление различных отчетов, докладных записок и т. п. И если их избавить от этого, то нетрудно представить, каким громадным будет экономический эффект.

Область инженерного и особенно управленческого труда все еще остается наименее механизированной. Пожалуй, лишь только один процесс умственного труда был в достаточной степени механизирован — это всевозможные расчеты (с помощью конторских счет, логарифмической линейки, арифмометров, настольных электромеханических машин, счетно-перфорационных и электронно-вычислительных машин).

В современной науке наблюдается, с одной стороны, дифференциация и специализация ее отраслей, а с другой — стирание границ между отдельными науками. И вот здесь, на стыках наук все чаще и чаще возникают новые открытия и направления. Так появилась, например, кибернетика. В этих условиях, конечно, более значительную роль приобретает систематизация и обработка научно-технической информации. Сейчас этим занимается специальная информационная служба. Наряду с централизованными учреждениями существуют и многочисленные бюро научно-технической информации на промышленных предприятиях. И все же этого еще недостаточно. Нужна широкая автоматизация этого вида деятельности и внедрение электронно-вычислительной техники.

Современный уровень развития народного хозяйства нашей страны характеризуется органическим сочетанием достижений НТР с преимуществами социалистической системы производства. Одним из выражений данного прогресса является комплексная автоматизация производства, контроля, управления, т. е. создание автоматизированных систем управления (АСУ).

Известно, что управление экономикой промышленно развитой страны требует непрерывного увеличения числа людей, занятых в сфере управления. Уже сейчас в некоторых странах управленческий персонал составляет 40—50% от общего числа работающих. И единственный выход из такого положения — увеличение производительности труда этих работников.

Другой пример. Расчеты показали, что для управления экономикой нашей страны нужно делать более 10^{16} арифметических операций в год. Если эти операции производить на обычных клавишных арифмометрах, то потребуется штат вычислителей в 10 миллиардов человек! В то же время с этой задачей могут легко справиться примерно 10 тысяч ЭВМ, установленных в центрах и связанных друг с другом каналами связи.

Система управления, как правило, решает три основных задачи: сбор и передачу информации об управляемом объекте, переработку информации и выдачу управляющих команд в той или иной форме. При этом различают системы управления технологическими процессами в широком смысле этого слова (управление полетом ракеты, управление производственными процессами на ра-

бочих местах и т. д.) и системы организационно-экономические, предназначенные для управления экономическими объектами. Главное отличие этих систем заключается в характере объекта управления. В первом случае — это различного рода машины, станки, приборы и т. п., а во втором — это прежде всего люди. Другое отличие состоит в форме передачи информации. Если в системах технологического управления информация передается в виде сигналов, то в организационно экономических системах она содержится преимущественно в документах.

Современное предприятие, и тем более отрасль народного хозяйства, представляет собой сложную систему, внутри которой циркулируют огромные потоки информации. Например, при решении задач планирования в пределах одной отрасли приходится учитывать до 150—200 тысяч названий материально-технических средств. В этом случае объем постоянной учетной информации (нормативы, цены, данные о производстве и т. д.) составляет 10—12, а объем переменной информации (заявки, счета, донесения, наряды и т. д.) — 100—200 миллионов знаков в год. Поэтому совершенствование управления, создание автоматических систем управления, внедрение электронной техники позволяет вскрыть и полнее использовать резервы увеличения производительности труда, улучшения качества продукции.

В ближайшее время еще шире начнут применяться электронно-вычислительные машины, существенно расширится область их использования. Сейчас, например, «машинный вариант» решения задач об оперативном планировании перевозок грузов автомобилями экономичнее ручного на 5—7%, а оптимальные маршруты плавания судов, рассчитанные с помощью ЭВМ, на 3—4% короче маршрутов, рассчитанных штурманами. За этими, казалось бы, небольшими процентами скрывается экономия колоссальных средств в масштабе всего народного хозяйства, во много раз превышающих затраты на развитие всей электронно-вычислительной техники!

Создаются также системы вычислительных центров, взаимодействующих между собой. Они обеспечат обработку информации в таких важных областях народного хозяйства, как планирование, финансы, статистика, транспорт, научная информация, медицина и т. д.

Приведем несколько примеров, наглядно демонстри-

рующих, какое преимущество дает применение АСУ и ЭВМ.

Количество пассажиров на железнодорожном транспорте год от года растет. В летние месяцы, например, из Москвы в поездах дальнего следования в сутки уезжает свыше 200 тысяч пассажиров. Чтобы ускорить продажу билетов, был создан Московский автоматизированный билетно-кассовый центр «Экспресс». Работая на базе электронной техники, «Экспресс» значительно ускорил оформление проездных документов. Раньше кассир, продавая билет, должен был найти требуемый маршрут, определить расстояние до станции назначения, запросить по телефону место у диспетчера, подсчитать стоимость проезда, заполнить от руки билет. На это у него уходило несколько минут. «Экспрессу» на ту же самую работу требуется несколько секунд.

Министерство гражданской авиации также осуществляет меры по ускорению оформления авиабилетов и улучшению справочно-информационной работы в Московском авиаузле, крупнейшем в стране и мире. Здесь ежедневно продают пассажирам свыше 60 тысяч билетов. В бюро бронирования Центрального агентства воздушных сообщений ежесуточно находится в обращении до восьми тысяч рейсовых карточек. Помогает справиться с этим новая система резервирования мест и продажи билетов — «Сирена». Она хранит в своей «памяти» все места на самолетах, вылетающих в течение 30 дней из Москвы и некоторых других аэропортов, а также часть мест на самолетах, возвращающихся обратными рейсами в столицу.

На Львовском телевизионном заводе успешно работает автоматизированная система «Львов», оснащенная ЭВМ. Экономический эффект от внедрения системы оказался весьма ощутимым. Если раньше завод выпускал 18—20 тысяч телевизоров в месяц, то после внедрения системы — 50—55 тысяч. Причем оборудование и штат цеховых служб остались прежними. Система освободила специалистов от однообразно-изнурительного составления деловых бумаг, помогла избежать ошибок и просчетов в планировании. Система выполняет до 80% расчетов по оперативно-календарному планированию основного производства. И что очень важно, получение информации, ее анализ и выдача рекомендаций для наивы-

годнейшего управления производством ведутся практически одновременно. Кроме того, система успевает решать целый комплекс задач по технико-экономическому планированию, бухгалтерскому учету, материально-техническому снабжению.

Вероятно, многим приходилось отыскивать нужную книгу или журнальную статью в библиотеке, перебирая для этого множество аннотированных карточек. И здесь на помощь пришли ЭВМ. На табло зажегся сигнал, это ЭВМ включилась в поиск. Через несколько минут специальное устройство напечатало аннотацию к статье в журнале, затребованной читателем. Такая информационно-поисковая система на базе ЭВМ создана в Государственной публичной научно-технической библиотеке СССР. Более 700 тысяч печатных единиц литературы ежегодно поступает в ее фонды. Поэтому без помощи ЭВМ в настоящее время практически невозможно отыскать нужный материал в этом «океане» знаний. А машина, в магнитной памяти которой хранятся данные обо всей литературе библиотеки, в несколько секунд выберет из книжного «моря» нужную справку, укажет, где найти необходимую читателю информацию.

Справочно-информационная система должна включать в себя четко разработанную организацию пополнения новыми поступлениями накопленного «электронного архива». Здесь не обойтись без так называемых читающих автоматов, способных автоматически читать информацию, напечатанную различными символами. Такой автомат ЧАРС-65, созданный в Киевском ордена Ленина институте кибернетики АН УССР, с высокой степенью точности и надежности считывает буквенную и цифровую информацию, при этом скорость считывания — 2 знака (букв или цифр) в секунду. Их можно с успехом применять для считывания различных планово-экономических и финансовых документов, конструкторской документации и т. п.

Другой электронно-пишущий автомат — «Эпра» с программным управлением создан в Латвии специалистами Центрального проектно-конструкторского бюро механизации и автоматизации. «Производительность» автомата — 600 знаков в минуту. По заданной программе он может печатать деловые письма, формуляры, бланки, отчеты и т. п.

«ЧЕЛОВЕЧЕСКИЕ» СПОСОБНОСТИ МАШИН

Электронно-вычислительные машины открыли огромные перспективы совершенствования процессов управления, автоматизации многих функций, считавшихся принадлежностью деятельности человека. Действительно, сейчас трудно найти такую область науки и техники, где бы они не нашли применения.

Однако как бы ни были совершенны электронно-вычислительные машины, они все же не смогут полностью заменить человека. Опасения, особенно зарубежных ученых в том, что мир машин вытеснит и даже погубит человечество, надуман. Проблема «человек или машина?», как отмечает академик В. М. Глушков, вообще теряет смысл в условиях социалистического общества, ибо человек, вооруженный кибернетическими машинами, будет всегда не только могущественней человека без машин, но и машин без человека.

ЭВМ весьма широко применяются в конструкторской практике как вспомогательное средство для проведения сложных расчетов. Но сейчас необходимы уже системы, способные автоматизировать весь комплекс работ конструкторов и технологов. Для этого ЭВМ должны иметь устройства для автоматизированного вычерчивания чертежей и подготовки другой конструкторской документации.

Первая такая машина — «Мир-2» создана в Киевском ордена Ленина институте кибернетики АН УССР. Помимо обычных вычислений, она может автоматически производить аналитические преобразования формул, дифференцирование, решать уравнения и т. п. «Мир-2» моментально производит сложные вычисления, на которые у инженера или конструктора ушли бы месяцы, а то и годы. При решении задачи или проблемы этой машине можно «приказать»: «испытать такой-то вариант». Если он окажется неверным, выбирается другой вариант. Таким образом, ЭВМ как бы участвует в творческом процессе исследования.

Создание ЭВМ «Мир-2» — существенный шаг вперед по пути упрощения отношений «человек—машина». Ее «язык» весьма прост и его легко освоить. Ей можно дать команду «вычисли», «проинтегрируй», «замени» и т. д. Кроме того, она имеет экран со световым карандашом. С помощью этого карандаша можно вносить различные

дополнения и пометки в программу. Например, подчеркнутые карандашом строка или отдельные символы в формуле или расчете машина уже не будет учитывать в программе. Это намного удобнее, чем выводить результаты решения задачи с помощью электрической печатной машинки на длинные листы бумаги, тратить время на просмотр, нахождение ошибок и внесение исправлений.

Машина дает возможность конструктору исследовать бесконечно большое число возможных решений в ходе разработки какого-то проекта. Она не только сравнит стоимость каждого варианта, его эксплуатационные качества в определенных условиях и т. п., но и моментально «увяжет» все другие особенности конструкции, такие, как технические характеристики, графики или чертежи отдельных деталей.

Действительность в наше время обгоняет самые, казалось бы, нереальные мечты фантастов. Как показывает история развития вычислительной техники, далеко не все области применения ЭВМ (в том числе и очень важные) можно предсказать заранее. Внедрение ЭВМ в народное хозяйство будет развиваться все более и более быстрыми темпами. Это обеспечит быстрый рост экономического потенциала, поможет вскрыть неиспользованные резервы, все те огромные возможности, которыми располагает социалистическое хозяйство.

МАШИНА МЫСЛИТ?..

По мере развития и совершенствования ЭВМ они становятся все более надежными и совершенными и по некоторым своим «способностям» даже превосходят своего творца-человека.

Попробуем, например, сопоставить память человека и машины. Мы убедимся, что, с одной стороны, человеческий мозг имеет бесспорные и огромные качественные преимущества против запоминающих устройств современных ЭВМ. С другой стороны, выполнение определенных операций и решение некоторых задач машина производит быстрее, точнее, надежнее.

Но все же биологические системы пока превосходят технические устройства с точки зрения их миниатюризации. Достаточно сказать, что около 15 миллиардов нейронов, содержащихся в мозге человека, занимают

объем лишь 1,5 дм^3. А общее потребление энергии мозгом не превышает десятка ватт. Кроме того, мозг представляет собой идеальный образец надежной системы из ненадежных элементов. Его работоспособность поразительна. Она сохраняется почти в полной мере без ремонта и без остановок работы мозга, хотя за час человеческой жизни отмирает около тысячи нейронов, а за всю жизнь — почти 500 миллионов. А доступно ли подобное современным техническим устройствам?

Известный американский математик Клод Шеннон однажды заметил, что когда люди моделируют человеческий организм, то машины, выбираемые для этих целей, всегда отражают свою эпоху. Так, Декарт, французский философ, математик, физик и физиолог, живший в XVII в., сравнивал организм человека со сложными водяными часами. В начале XX в. работу мозга сравнивали с коммутатором АТС, а в наше время более совершенной моделью организма стали считать ЭВМ. Возможно, по этой причине многие ученые и инженеры пытаются дать ответ на два основных вопроса: «Можно ли рассматривать мозг как своего рода вычислительное устройство?», «Можно ли создать машину с надежностью мозга, причем такую, которая бы «мыслила», как мозг?».

Одни ученые считают, что моделирование творческих способностей мозга человека невозможно, так как всякое творчество немыслимо без эмоций, вдохновения, духовного подъема, свойственных только человеку. Значит, если заранее определить мышление как качество, присущее только человеку, то, конечно, создать мыслящую машину нельзя. Другие ученые приводят противоположные доводы, основываясь на факте, что в основе работы мозга и ЭВМ лежат одни и те же законы и принципы переработки информации. А если мы знаем эти законы, то, по-видимому, можно их воспроизвести, а следовательно, выполнить модель работы мозга любой сложности, в том числе и способностей к творческой деятельности. Правда, если сравнить, например, интуицию И. П. Павлова или А. Эйнштейна с любой машиной, то всякое упоминание о разуме машины будет звучать смешно. Другое дело, когда речь заходит о машинах, умеющих доказывать теоремы, играющих в шахматы и т. п.

Конечно, наивно искать механизм мышления в самых современных ЭВМ, хотя способностью к обучению обла-

дают машинные программы, которые определяют последовательность и характер производимых расчетов. Но только разум человека может свободно выбирать, преодолевать случайности. С этой точки зрения «искусственный разум» будет выглядеть нелепо: ведь машина делает только ту работу, которую ей задал человек.

Ученые много работают над тем, чтобы «научить» машину распознавать звуки речи, отвечать на заданные ей вопросы.

«Послушаем» диалог человека и машины.

Человек. Были ли вы рады дождю, который прошел сегодня после полудня?

Машина. Нет, я люблю больше солнечную погоду.

Человек. В жаркую погоду человеку нужна, по крайней мере, одна ванна в день.

Машина. Да, я как раз был на улице и изнемогал от жары.

Человек. Когда придет рождество, будет холодная погода.

Машина. Холодная погода? Да, обычно в декабре морозно.

Человек. Сегодня ясная погода. Долго она будет продолжаться?

Машина. Позвольте мне не лгать. Это больше подходит торговцу. Как же может дождливая погода быть ясной?

Этот диалог между человеком и машиной произошел на английском языке в университете Торонто, в Канаде.

Не правда ли, очень интересно: машина слушает и понимает человеческую речь. Для того чтобы «научить» машину разговаривать с человеком, машинную «память» «начиняют» гигантской информацией.

Вначале машину «учат» распознавать звуки. С этой целью ее долго заставляют «прослушивать» слова, произнесенные разными людьми для того, чтобы она «усреднила» особенности произношения этих слов (разные тембры голоса, интонация, различная чистота произношения). Потом машина, услышав знакомое слово, «не будет ошибаться».

Что же происходит, когда машина «слышит» слово? Примерно то же самое, что и при разговоре по телефону или радио: звуковые колебания преобразуются в электрические. Затем с помощью специальных фильтров их

«просеивают» по частоте, после чего в машинной «памяти» они сравниваются с хранящимися там эталонами по строго определенному «узору» сигналов. Этот «узор» — картина звука — и есть тот усредненный звук, который «научилась» узнавать машина.

Пока еще машина негибка, «неповоротлива» в восприятии слов. Она не различает эмоциональные и смысловые оттенки. И, конечно, для нее недопустимо образное мышление человека. Только сухая логичность, только строгая однозначность, только неумолимая точность.

Разные способы применяют ученые, различные «педагогические» приемы используют, чтобы решить эту проблему. А проблема эта нужная. Дело в том, что бурное развитие ЭВМ, широкое применение электронных управляющих систем остро поставило вопрос об общении человека с машиной. При этом очень важно, чтобы общение было непосредственное: человек сказал — машина сделала. Представьте себе, например, такую картину: информационная ЭВМ, приняв устный вопрос о том, где, когда, кем, кому, на какое изобретение было выдано авторское свидетельство, тут же выдаст точную, исчерпывающую справку.

Электронные машины, воспринимающие «на слух» слова, нужны везде.

Остановимся еще на одной проблеме, связанной с работой ЭВМ. Как известно, мозг человека может переключаться с решения одной задачи на другую, откладывать решение той задачи, которая менее важна, и приниматься за ту, которую нужно решить немедленно. Эти способности мозга реализованы в некоторой ЭВМ в виде системы «разделения времени». Машина «сама» по программе распределяет все задания, поступающие к ней, отдавая предпочтение более важным. Менее важные задачи машина записывает в свою память и решает их в «свободное время».

Машина может работать без отдыха круглые сутки. Она значительно превосходит человека в скорости перебора возможных путей поиска правильного решения той или иной задачи. Но мозг человека имеет замечательное свойство — «чувство близости решения». Не зная, как решить задачу, человек ищет это решение, используя какие-то определенные построения, не уходя в сторону. Машина же не обладает еще таким свойством. По-

этому она может уйти далеко в сторону от правильного решения, очень долго блуждать и искать его, прежде чем найдет. И здесь на помощь машине пришло эвристическое[1] программирование.

Вспомните веселую историю, случившуюся с Гаррисом в юмористической повести Джерома Джерома «Трое в одной лодке, не считая собаки», когда он попал в Хемптон-кортский лабиринт. «Мы только зайдем сюда, чтобы ты мог сказать, что побывал в лабиринте, но это совсем несложно. Мы походим здесь минут десять, а потом отправимся завтракать», — уговаривал Гаррис родственника.

Но, увы! Он заблудился сам и запутал людей, которых взялся избавить от блуждания по лабиринту. Время шло, а предводительствуемая им компания безуспешно искала выход из лабиринта. Гаррис не знал, блуждая от площадки к площадке лабиринта, что поиски выхода из него — проявление творческого метода проб и ошибок. Его сущность: через серию проб, преодолевая ошибки, — к решению. И если перебрать все возможные пути «вход — выход», задача будет решена.

Это так называемый простой перебор. Обычная, неэвристическая программа ищет «выход» из лабиринта, перебирая всевозможные варианты и отбрасывая непригодные.

В эвристической программе главное — стратегия поиска решений. Подбор вариантов идет не постепенным приближением, а скачками и продолжается до тех пор, пока программа не попадет на «площадку», которая ближе всего к «выходу» из лабиринта. Это намного эффективней простого перебора и некоторые ученые считают, что подобный механизм действия лежит в основе творческой деятельности человека.

Специалисты утверждают, что применение эвристических программ в медицине, на транспорте, в освоении космоса, в физиологии, в управлении производством и многих других важнейших областях науки и техники дает громаднейший эффект.

---

[1] Эвристика — наука, изучающая закономерности творческой деятельности и разрабатывающая методы и пути управления «программами», по которым протекает творческий процесс. Свое название эвристика получила от известного восклицания Архимеда: «Эврика!» — «Нашел!»

Способности мозга человека к творческой деятельности всегда были предметом восхищения и преклонения. Поэтому не удивительно, что человек стремится создать некое машинное подобие себе. И несмотря на колоссальные трудности, стоящие на пути к осуществлению этой проблемы, ученые и специалисты считают, что она будет решена. Какими путями? Сейчас пока еще трудно определенно ответить на этот вопрос. Но уже имеются проекты лазерных устройств с использованием волоконной оптики, которые работают как живой нейрон. Искусственные волокна выполняют роль нервов в передаче импульсов, а работа машины имитирует действие нейронов мозга и нервной системы в целом.

Вполне вероятно, что в будущем методами непрерывной «ростовой» технологии, заимствованными у природы, можно будет выращивать в особой среде не только отдельные элементы и блоки электронных устройств, но и целые вычислительные машины. При этом будет полностью решена проблема века — проблема их надежности. Плотность «упаковки» в таких машинах приблизится к плотности нейронов в мозге человека. Колоссально возрастет и быстродействие машин — до миллиардов и даже тысячи миллиардов операций в секунду!

Подобные проекты поражают воображение. Но вчерашняя фантастика сегодня уже стала действительностью, внедрена в практику. Таких примеров множество. Ведь возможности человека столь же беспредельны, как и познание...

Вместо заключения

Подошел к концу наш рассказ о радиоэлектронике. Можно с уверенностью сказать, что радиоэлектроника по своему воздействию на все области науки и техники — одна из ярких страниц в истории человечества. Ее бурное развитие продолжается. И нет сомнения в том, что в ближайшие годы мы будем свидетелями новых открытий и достижений в области радиоэлектроники.

А чтобы непосредственно двигаться вперед в познании окружающего нас мира, будущему исследователю нужно не только знать, но и глубоко понимать суть вещей. Скажем заранее: покорять «вершины» радиоэлектроники нелегко. Одного желания мало, нужны прочные

знания, трудолюбие, настойчивость, упорство, подлинная любовь к выбранной специальности. И может быть в начале вашего трудового пути вам покажется, что в отрасли, где вы будете работать, все уже открыто и не осталось ничего интересного. Процитируем слова известного английского физика Дж. Дж. Томсона: «Великое открытие — это не конечная станция, а, скорее, дорога, до сих пор неизвестная. Мы взбираемся на вершину пика, и нам открывается другая вершина, еще более высокая, чем мы когда-либо видели до сих пор, и так продолжается дальше»...

Прочитав эту книгу, авторы надеются, что она поможет вам, уважаемые читатели, одолеть одну из многих вершин радиоэлектроники и увидеть ее необозримые просторы.

ЛИТЕРАТУРА

Айсберг Е. Радио?.. Это очень просто! М., Энергия, 1967.

Айсберг Е. Телевидение?.. Это очень просто! М., Энергия, 1967.

Айсберг Е. Транзистор?.. Это очень просто! М., Энергия, 1967.

Айсберг Е., Дурн Ж.-П. Цветное телевидение?.. Это почти просто! М., Энергия, 1969.

Богданкевич О. В. Полупроводниковые лазеры. М., Знание, 1975.

Бренев И. В. Начало радиотехники в России. М., Советское радио, 1970.

Великов Г. В. Оптические вычислительные системы. М., Знание, 1976.

Гутер Р. С., Полунов Ю. Л. От абака до компьютера. М., Знание, 1975.

Ельянов М. М. Практикум по радиоэлектронике. М., Просвещение, 1977.

Емельянов Е. Д. Современные системы звукопередачи. М., Знание, 1975.

Жеребцов И. П. Основы электроники. М., Энергия, 1967.

Иванов С. М. Человек среди автоматов. М., Знание, 1969.

Изюмов Н. М., Линде Д. П. Основы радиотехники. М., Энергия, 1965.

Козюренко Ю. И. Механическая звукозапись и ее воспроизведение. М., Знание, 1975.

Карцев В. П. Приключения великих уравнений. М., Знание, 1970.

Клейман А. Ю. Транзистору 20 лет. М., Знание, 1968.

Пекелис В. Д. Маленькая энциклопедия о большой кибернетике. М., Детская литература, 1970.

Степаненко И. П. Основы теории транзисторов и транзисторных схем. М., Энергия, 1967.

Федотов Я. А. Встреча с микроэлектроникой. М., Знание, 1975.

Фомин Б. В. От искры до лазера. М., Знание, 1967.

Хорбенко И. Г. Звук, ультразвук, инфразвук. М., Знание, 1978.

Черногорова В. А. Беседы об атомном ядре. М., Молодая гвардия, 1976.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ИВАН ИВАНОВИЧ ДЗЮБИН
АНАТОЛИЙ АНДРЕЕВИЧ ЕНИН

ПУТЕШЕСТВИЕ В МИР РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

Редактор *А. Ф. Раева*
Обложка художника *С. Ф. Лухина*
Художественный редактор *Л. Г. Бакушева*
Технический редактор *В. Ф. Коскина*
Корректор *О. С. Захарова*

ИБ № 4538

Сдано в набор 02.08.79. Подписано к печати 13.06.80. А07011. Бумага типографская № 2. Гарнитура обыкн. новая. Печать высокая. Усл. печ. л. 9,24. Уч.-изд. л. 9,21. Тираж 100 000 экз. Заказ № 2689. Цена 30 коп.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Просвещение» Государственного комитета РСФСР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. Москва, 3-й проезд Марьиной рощи, 41.
Типография № 2, Росглавполиграфпрома, г. Рыбинск, ул. Чкалова, 8.

30 к.

